

## REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?



Selmo Chapira Kuperman – DESEK  
[selmo@desek.com.br](mailto:selmo@desek.com.br)

## CONCRETO MASSA

Qualquer volume concretado *in loco* cujas dimensões são grandes o suficiente para exigir que sejam tomadas medidas para combater a geração de calor e a consequente variação de volume da estrutura para minimizar o aparecimento de fissuras de origem térmica



## CONCRETO MASSA



Bloco de fundação da chaminé da  
fábrica Eldorado-MS;  $v \sim 1390\text{m}^3$   
(arquivo Deseq, 2010)



Bloco de fundação - SP;  $v \sim 670\text{m}^3$   
(arquivo Deseq, 2013)

Bloco de fundação – União dos Ventos - RN;  
 $v \sim 260\text{m}^3$   
(arquivo Deseq, 2011)





## CONCRETO MASSA



**Paredes espessas – Bunker;  
largura de ~1,5m  
(arquivo Deseq, 2008)**

**Laje de subpressão; h=80cm  
(arquivo Deseq, 2014)**



**Bloco de fundação em São Paulo;  
v ~390m<sup>3</sup> (arquivo Deseq, 2011)**



# FISSURAÇÃO TÉRMICA

# FISSURAÇÃO TÉRMICA

Atualmente a ocorrência de fissuras é muito mais comum do que antigamente devido à exigência de concretos com maiores resistências, concretos bombeados, desfôrma rápida, maiores abatimentos, entre outros.

O aparecimento de fissuras de origem térmica está diretamente ligado às variações volumétricas que ocorrem no concreto, devido ao calor gerado pela hidratação do cimento.

# FISSURAÇÃO TÉRMICA

O calor de hidratação é diretamente influenciado por:

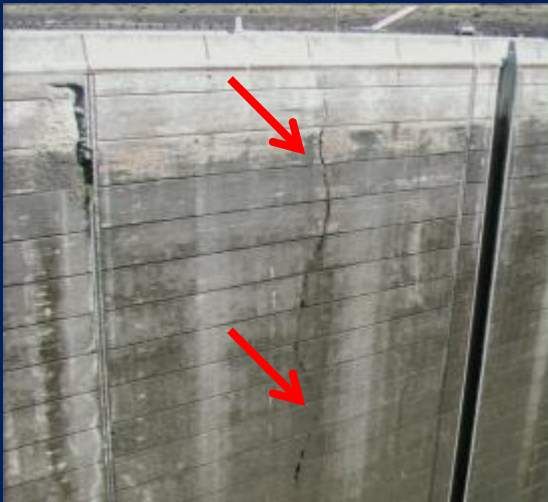
- Tipo de cimento;
- Consumo de cimento;
- Finura do cimento.

# FISSURAÇÃO TÉRMICA





## FISSURAÇÃO TÉRMICA



## FISSURAS DE ORIGEM TÉRMICA



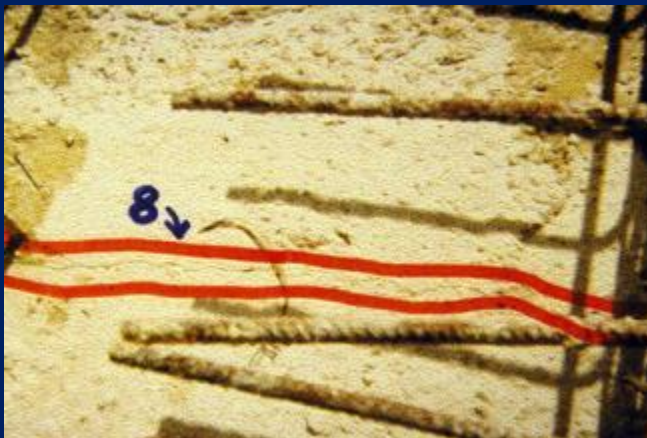
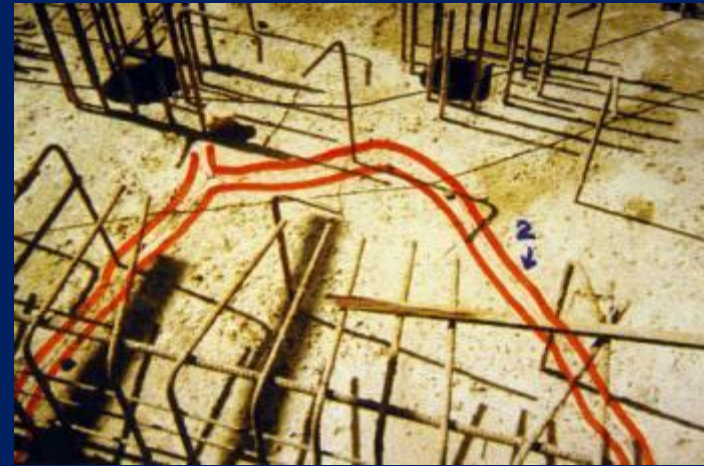
Fissuras em vertedouro de PCH  
(região sul do país); abertura de  
0,8mm  
(arquivo Deseq, 2009)



Fissuras em bloco de  
fundação (região sudeste do  
país); abertura de 0,3mm  
(arquivo Deseq, 2009)



## FISSURAÇÃO TÉRMICA



## FISSURAÇÃO TÉRMICA

A fissuração térmica pode ser minimizada quando:

- A diferença entre o pico de temperatura do concreto e a temperatura ambiente for pequena;
- Os valores do coeficiente de expansão térmica do concreto, do módulo de elasticidade do concreto e do grau de restrição, forem baixos;
- A resistência do concreto for elevada.



# ESTUDOS DE TENSÕES TÉRMICAS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL

## TEMPERATURAS

CÁLCULO DAS EVOLUÇÕES DE TEMPERATURAS DO CONCRETO NA  
ESTRUTURA

## TENSÕES

CÁLCULO DAS TENSÕES/DEFORMAÇÕES RESULTANTES NA  
ESTRUTURA BASEADO NAS DISTRIBUIÇÕES DAS TEMPERATURAS



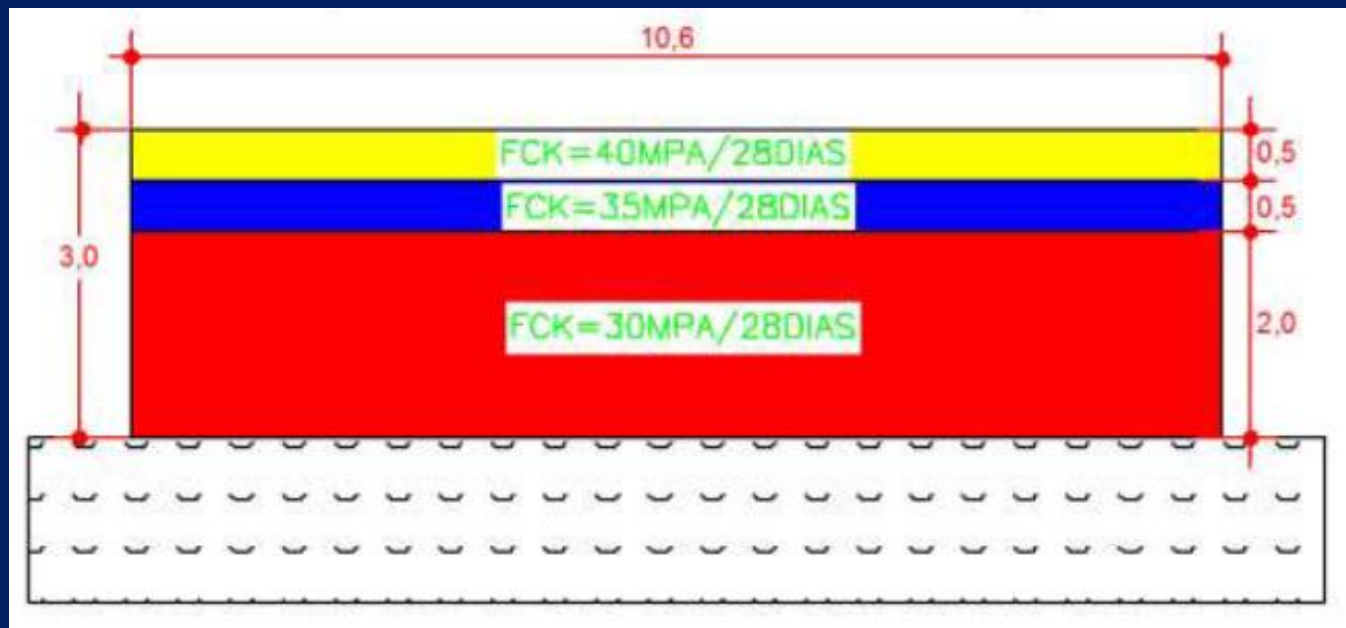


# FATORES QUE INFLUENCIAM NA FISSURAÇÃO TÉRMICA

1. Condições climáticas
2. Propriedades dos concretos
3. Projeto e construção (dimensões, formas, cura, juntas, refrigeração, projeto estrutural, etc)
4. Velocidade construtiva (AL, IL, TL)
5. Restrição (interna e externa) (fundações, paredes, núcleo)

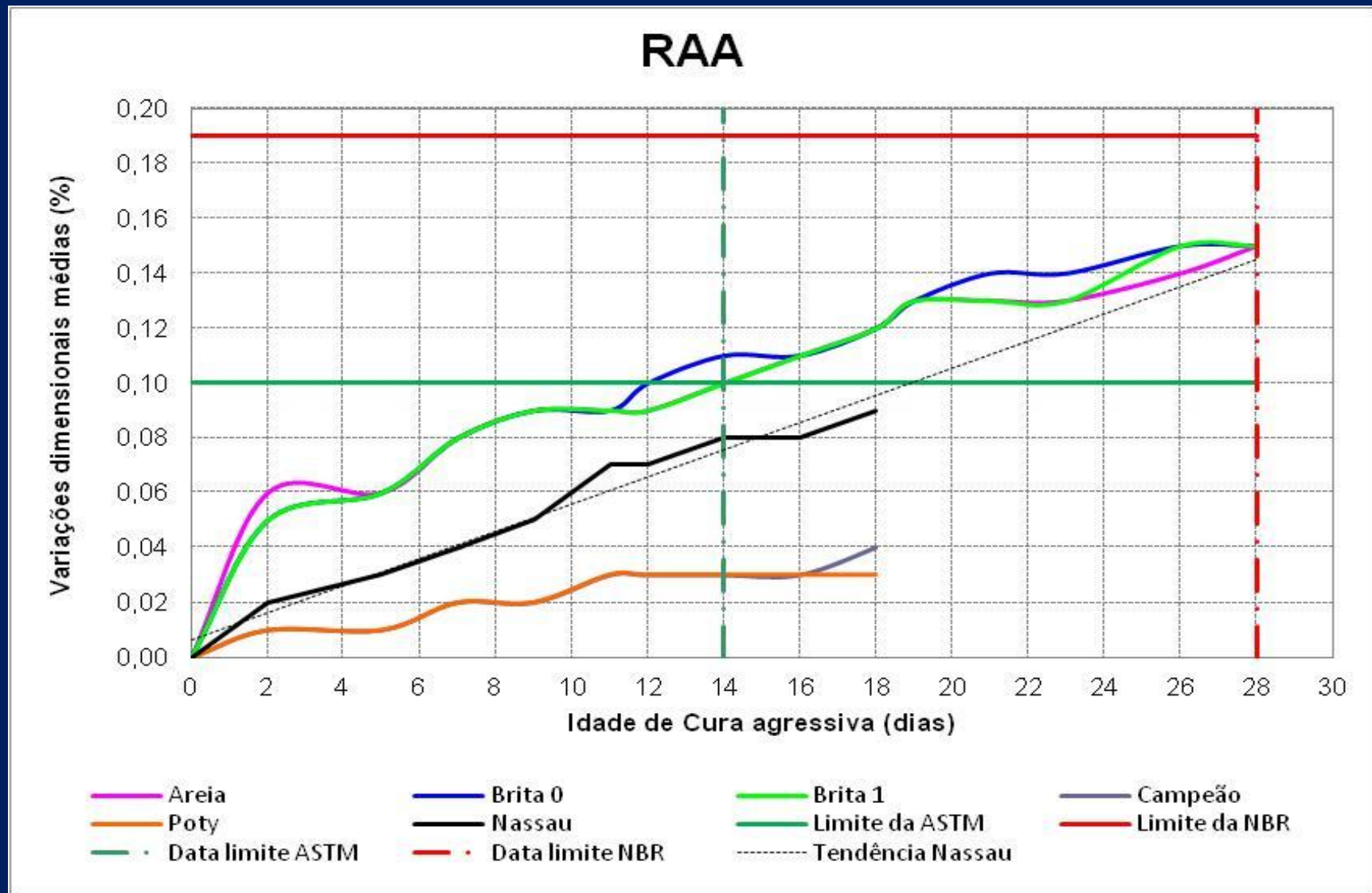
# CONTROLE DA FISSURAÇÃO TÉRMICA

Utilização de materiais pozolânicos; **Concretagem em etapas**; Aumento do intervalo de lançamento entre as camadas; **Concretagens em dias e/ou horários em que a temperatura ambiente seja menor**; **Realizar estudos térmicos**; **Refrigeração do concreto**; Aumento da idade de controle da resistência à compressão do concreto (menor consumo de cimento); **Zoneamento das classes de concreto.**



# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?

## ENSAIO DE REATIVIDADE ÁLCALIS- AGR3EGADOS



## ESTUDOS TÉRMICOS

**PARQUE EÓLICO UNIÃO DOS VENTOS- RN**

**Projeto GE/SERVENG, no Rio Grande do Norte**

**Construção: Serveng**

**105 aerogeradores**

**168 MW**





- Base poligonal de 8 vértices está inscrita em uma circunferência de 13,7m de diâmetro ;

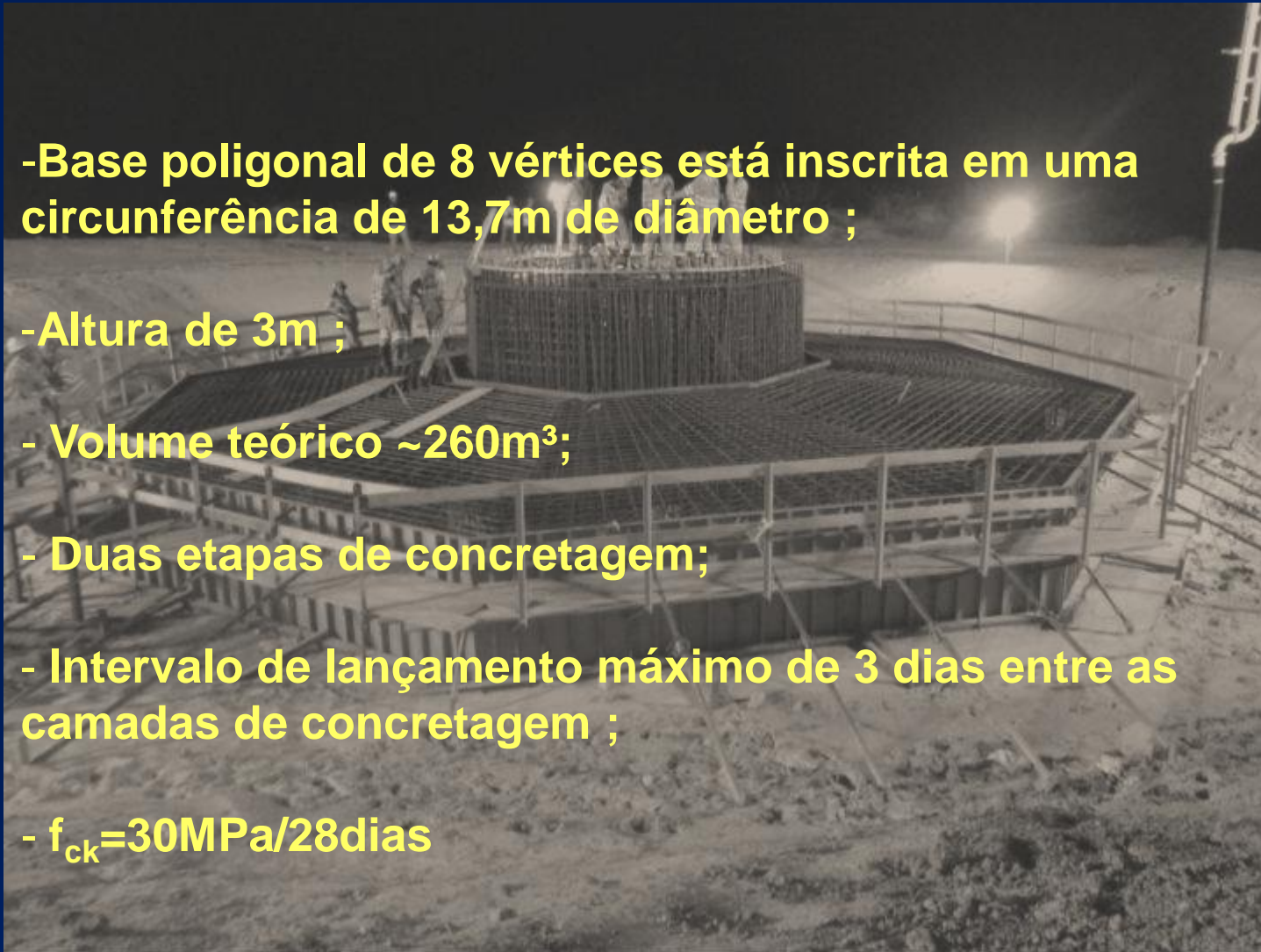
- Altura de 3m ;

- Volume teórico ~260m<sup>3</sup>;

- Duas etapas de concretagem;

- Intervalo de lançamento máximo de 3 dias entre as camadas de concretagem ;

-  $f_{ck}=30\text{MPa}/28\text{dias}$



## MÉTODOS DE CÁLCULO E DE AVALIAÇÃO

- MÉTODO EXPEDITO DE TENSÕES;
- MÉTODO EXPEDITO DE CAPACIDADE DE DEFORMAÇÃO;
- MÉTODO SIMPLIFICADO (Schmidt, Carlson, Stucky-Derron, etc.);
- **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.**

## PARÂMETROS DISPONÍVEIS PARA SIMULAÇÃO UNIÃO DOS VENTOS- RN

Dosagem do concreto –  $f_{ck}=30\text{MPa}/28\text{dias}$

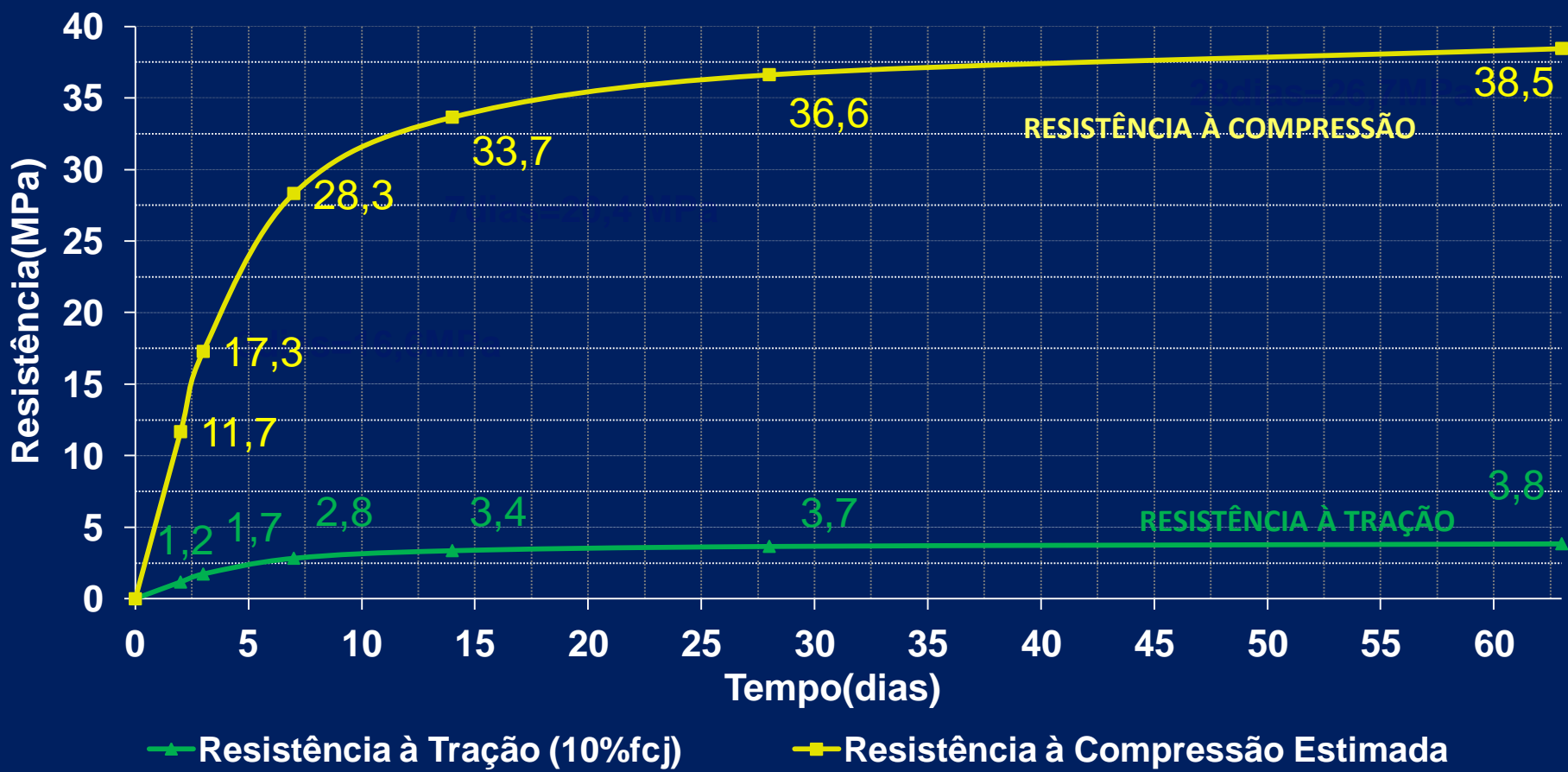
Projeto – Bloco de fundação - União dos Ventos			
Material	Tipo	Fornecedor	Consumo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
Cimento	CP-IV Z 32 (Campeão) LAFARGE	Caporan/PB	342,0
Metacaulim	Sikalim. SIKA	CYSNE Engenharia Ltda. Natal/RN	47,9
Areia	Quartzosa de rio	Marcone – João Câmara/RN	701,0
Brita 0	Granítica	Pedreira Potiguar – Taipú/RN	359,2
Brita 1	Granítica	Pedreira Potiguar – Taipú/RN	718,4
Água	-	Rede de abastecimento. CAERN Natal/RN	184,7
Aditivo Plastificante	Sikament PF 171	CYSNE Engenharia Ltda. Natal/RN	2,4
Aditivo superplastificante	Viscocrete 3535	CYSNE Engenharia Ltda. Natal/RN	3,4

- Cimento - CP IV Z 32
- Agregado graúdo e miúdo: Granito
- Massa específica =  $2359\text{kg}/\text{m}^3$
- Coeficiente de Poisson = 0,21



# RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO

Resistência à Tração e Compressão  
Base para torre dos aerogeradores – Natal-RN

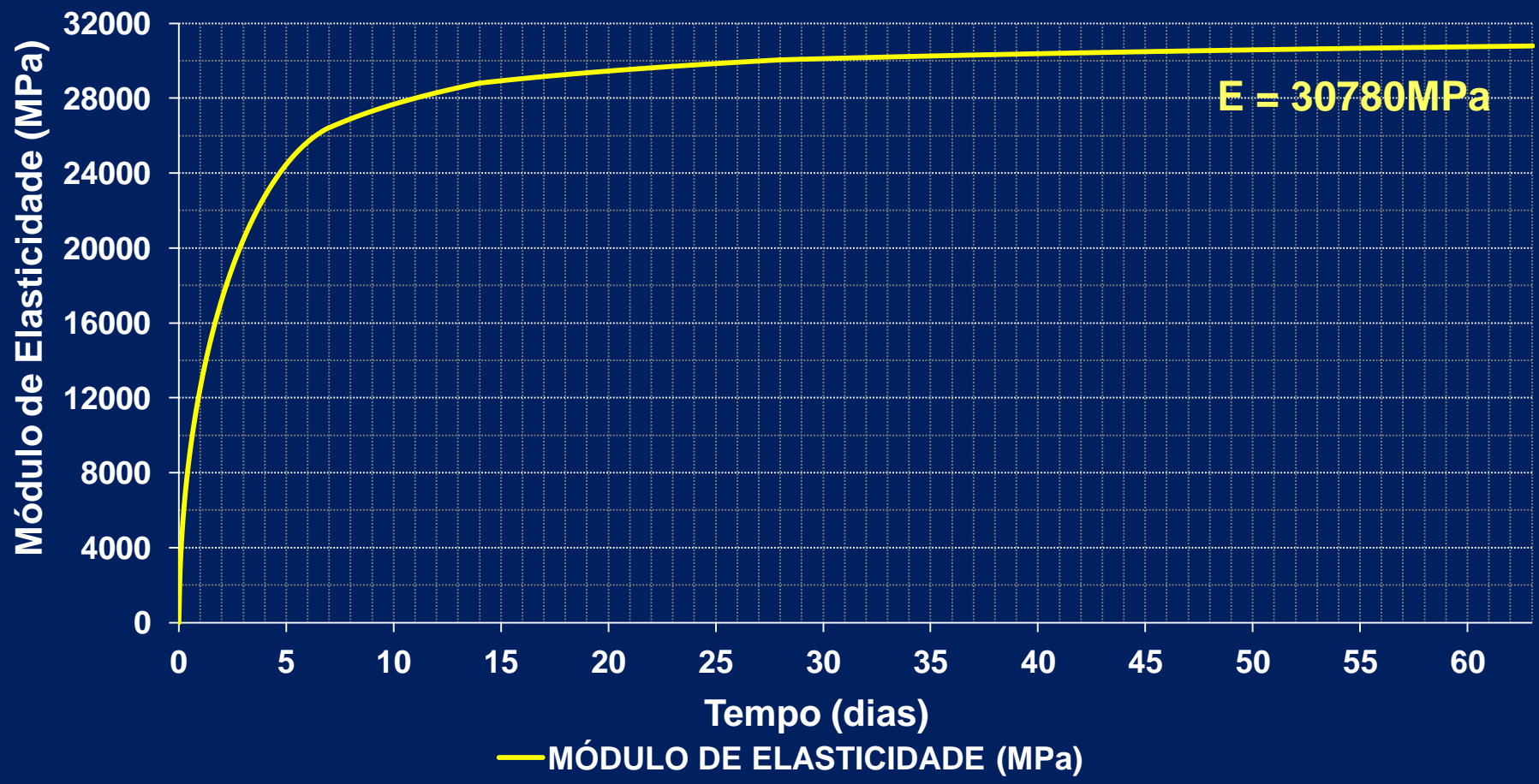






# MÓDULO DE ELASTICIDADE

Módulo de Elasticidade - BASE DOS AEROGERADORES - NATAL/RN



Módulo de Elasticidade estimado a partir da NBR 6118

# CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO CONCRETO

$$c = \frac{\sum m_i c_i}{\sum m_i}$$

$$k = \frac{\sum m_i k_i}{\sum m_i}$$

Calor específico (kJ/kg.°C)	Condutividade térmica (kJ/m.h°C)	Coefficiente de dilatação térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)
1,2	9,6	11,2

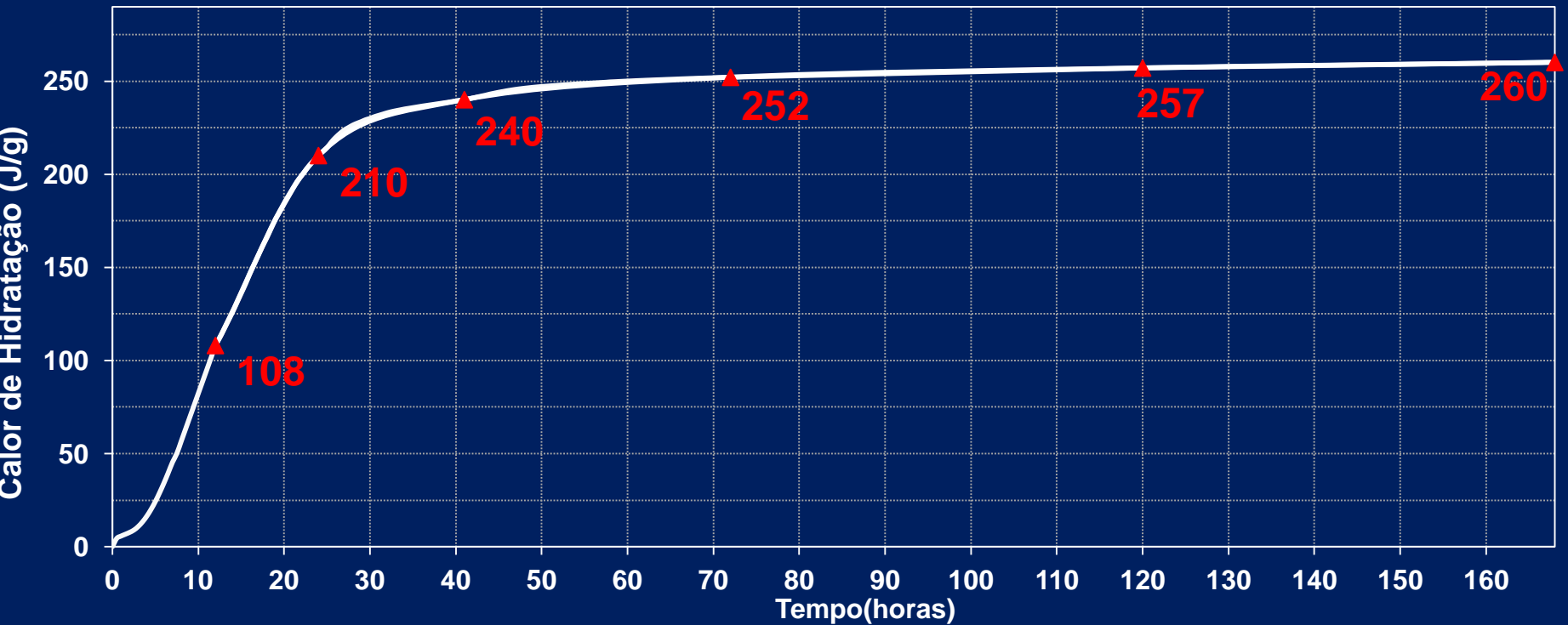
O coeficiente de dilatação térmica adotado foi estimado a partir de informações de concretos que utilizaram mesmo agregado próximo a região da obra.



## CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO CONCRETO

Resultados (J/g)					
(ref.ABCP, Ensaio de determinação do Calor de Hidratação:CPIV Z 32 (Campeão) Lafarge					
12	24h	41h	72h	120h	168h
108	210	240	252	257	260

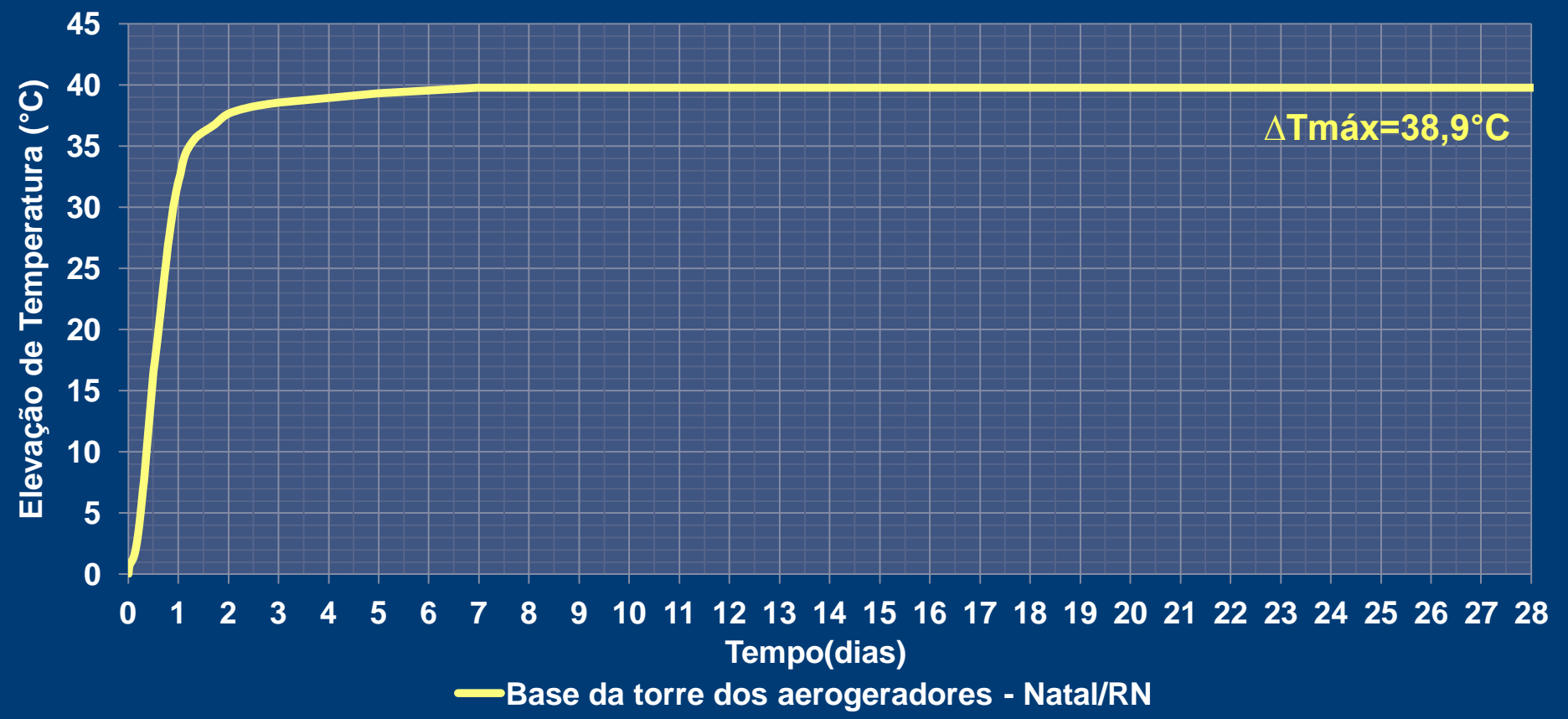
Calor de Hidratação – Cimento CP IV Z - 32 (Campeão) Lafarge



— ESTIMATIVA DA EVOLUÇÃO DO CALOR DE HIDRATAÇÃO - CP IV 32 - CAMPEÃO-LAFARGE  
▲ DADOS DO ENSAIO (CALOR DE HIDRATAÇÃO)



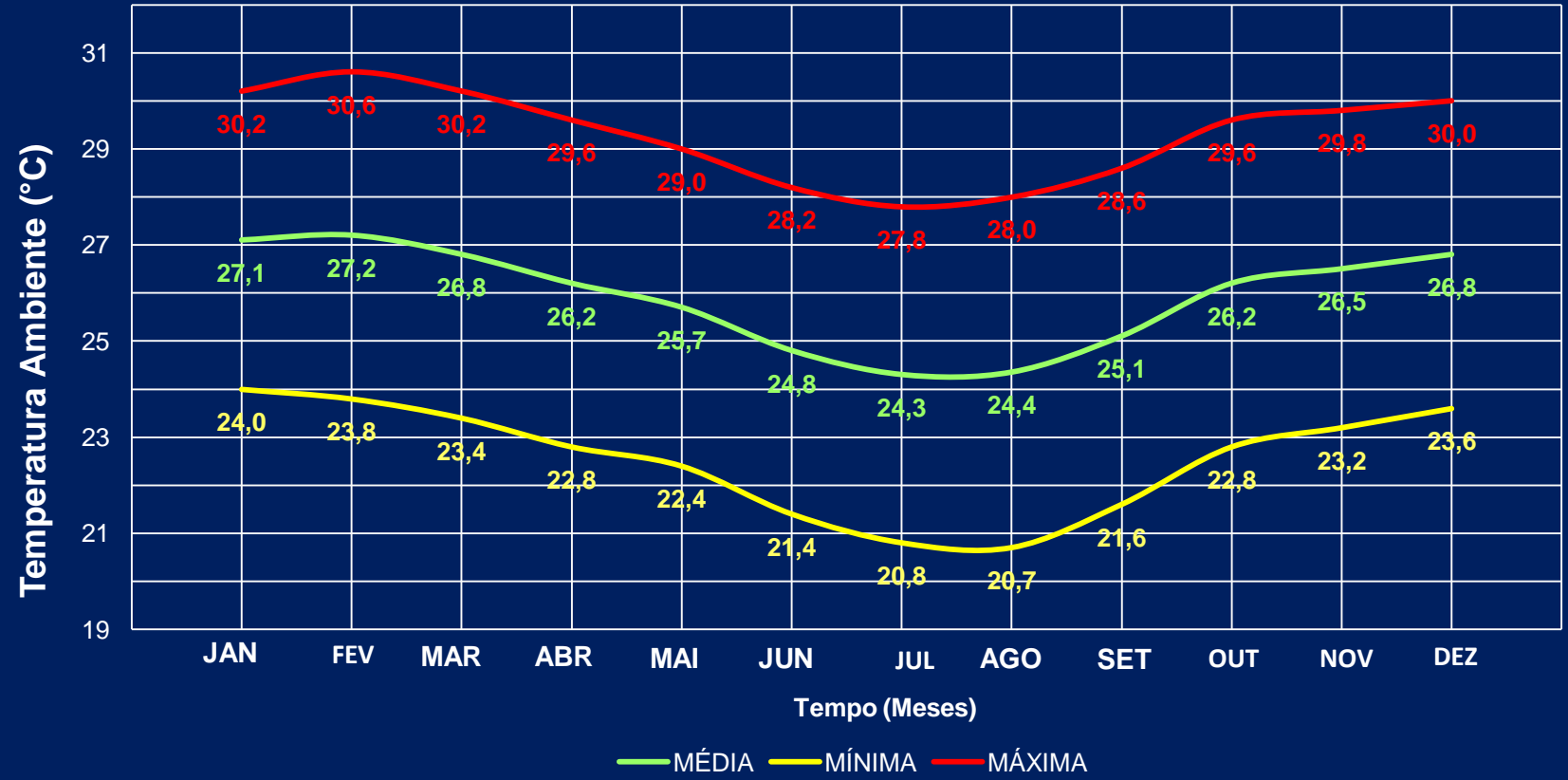
# ELEVAÇÃO ADIABÁTICA DE TEMPERATURA





## CONDIÇÕES DE CONTORNO

Média de temperaturas (Período: 1961 a 1990) - Natal-RN



(FONTE: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br))

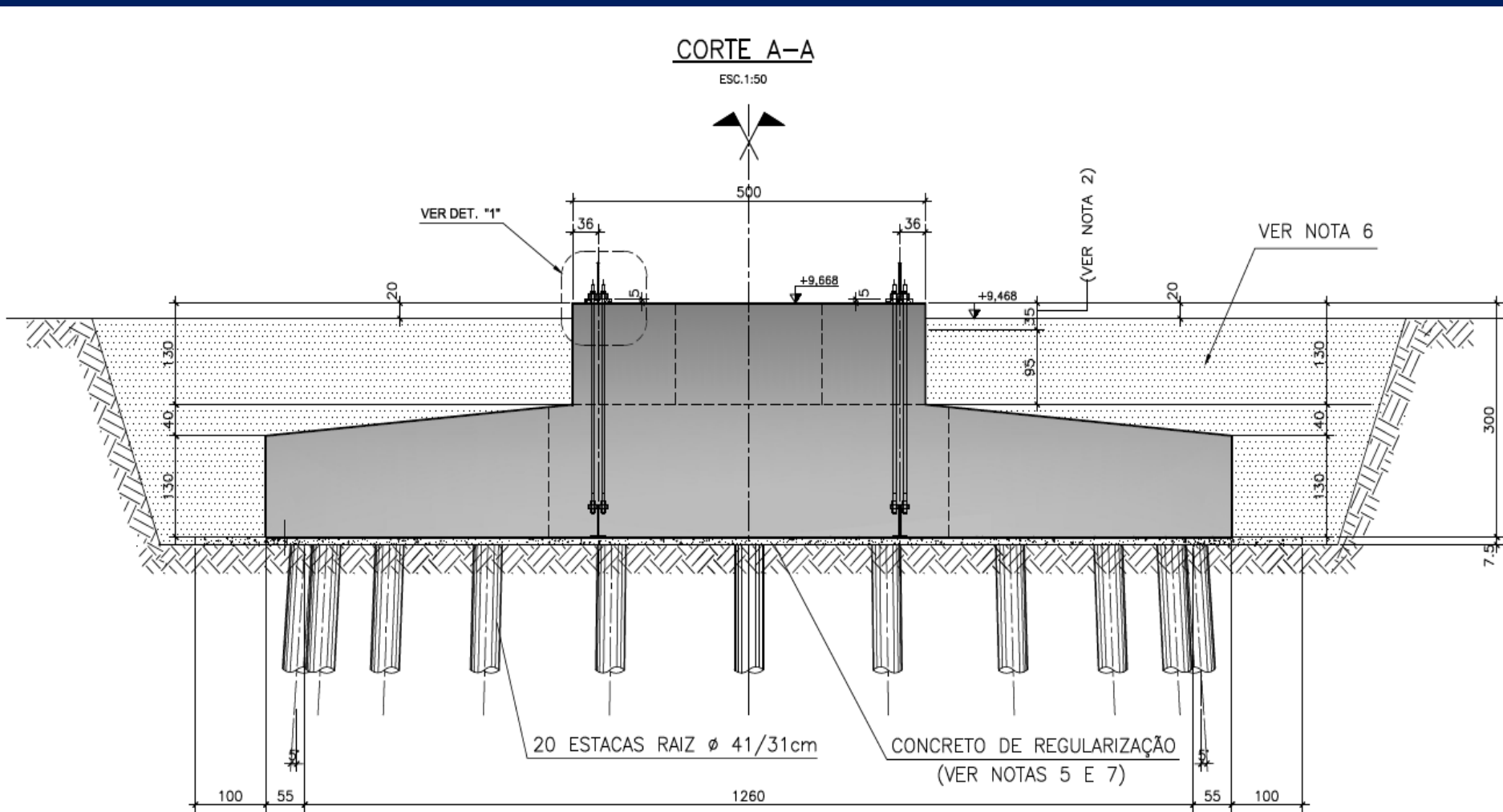


## CONDIÇÕES DE CONTORNO

- Velocidade média do vento de 4,7m/s;
- As fôrmas foram simuladas como colocadas no início da concretagem;
- O período de cura máximo considerado foi de 14 dias por inundação ou até 2 horas antes da retomada da camada posterior;

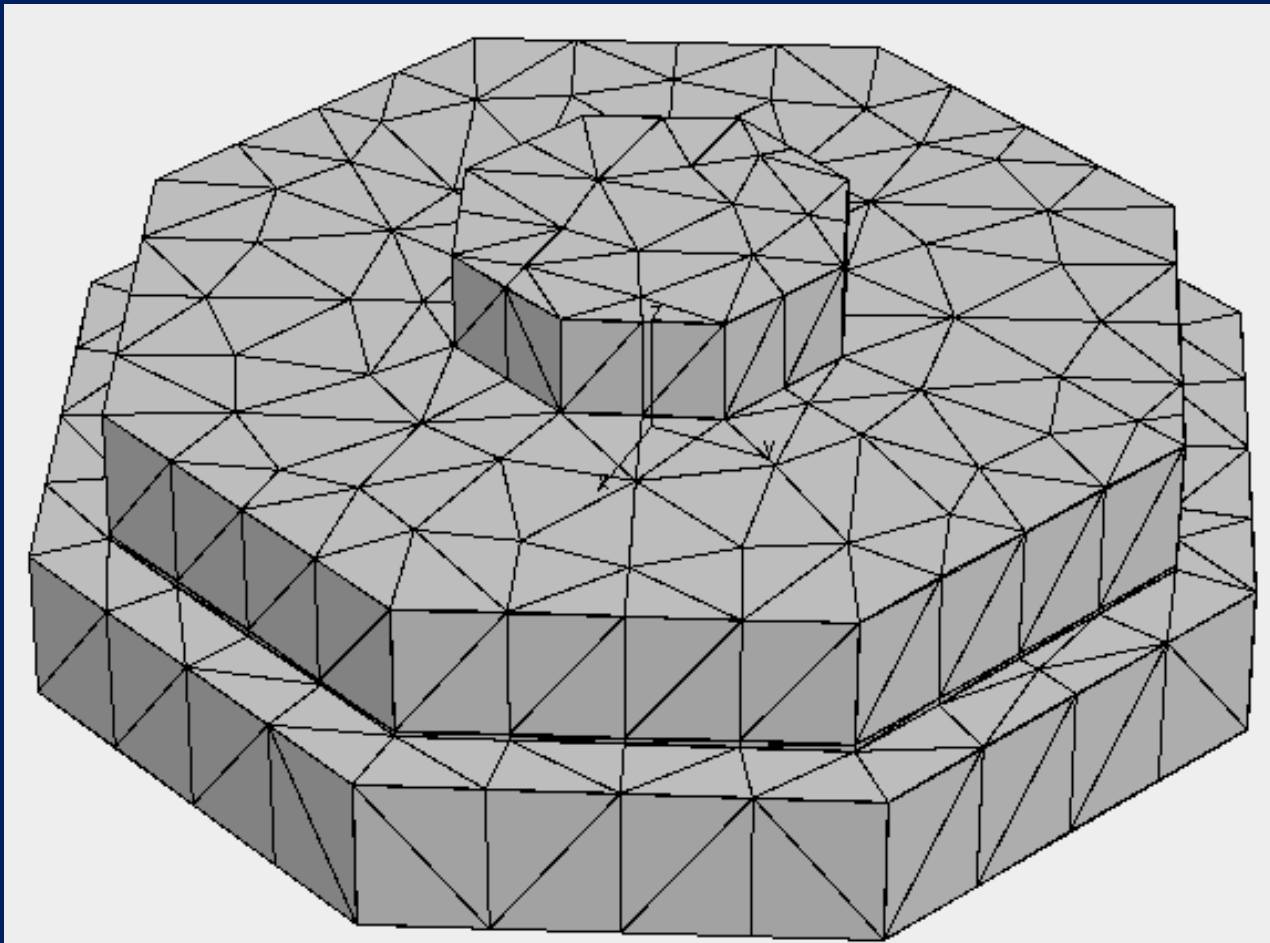
Tipo de troca	Transmissão superficial de calor (kJ/m <sup>2</sup> .h.°C)
Concreto - ar.	48,6
Concreto - água de cura	1256,0
Concreto – fôrma metálica +vento	48,6

## GEOMETRIA DA ESTRUTURA



**Seção do bloco – Corte AA**

## GEOMETRIA DA ESTRUTURA



-Elementos tetraédricos;

-Os elementos tetraédricos são formados com 10 nós para análise térmica

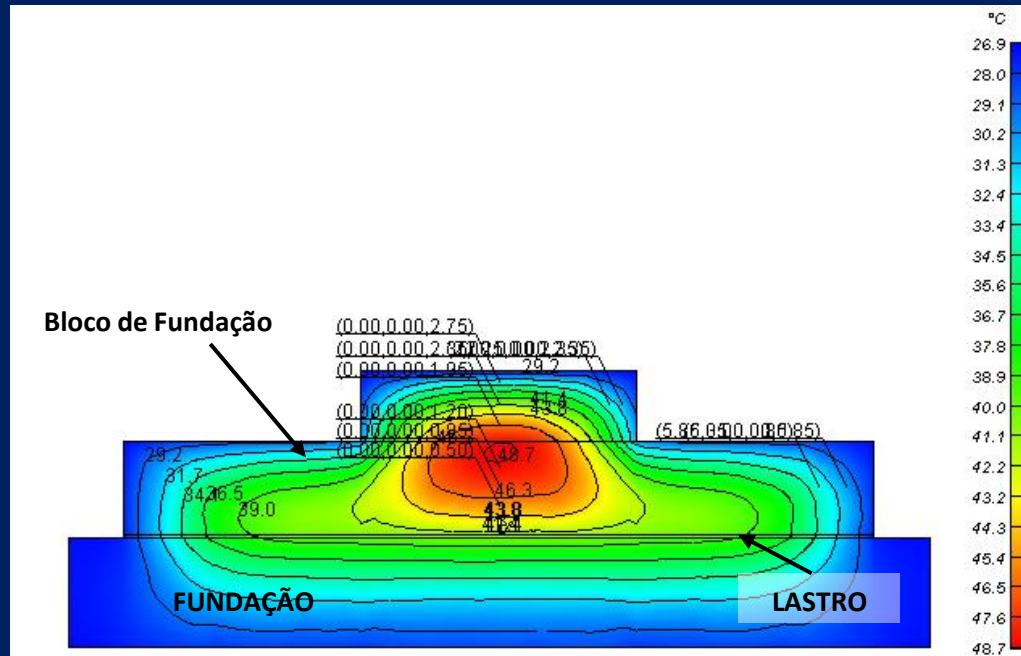
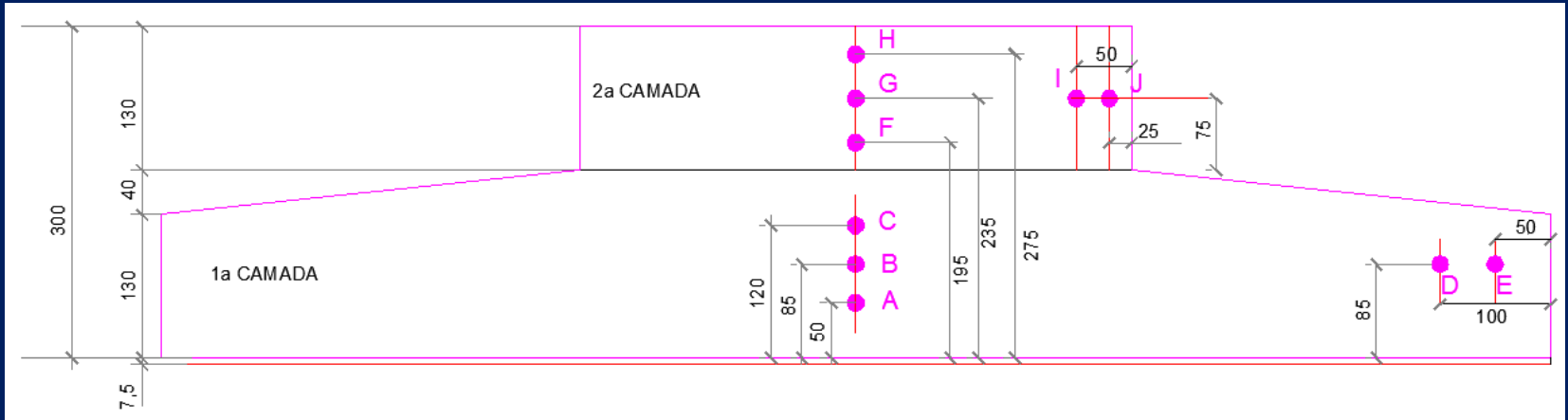
-20 nós (cada um com 3 graus de liberdade) para análise das tensões

**MALHA DE ELEMENTOS FINITOS – Software B4CAST**

## CASOS ESTUDADOS

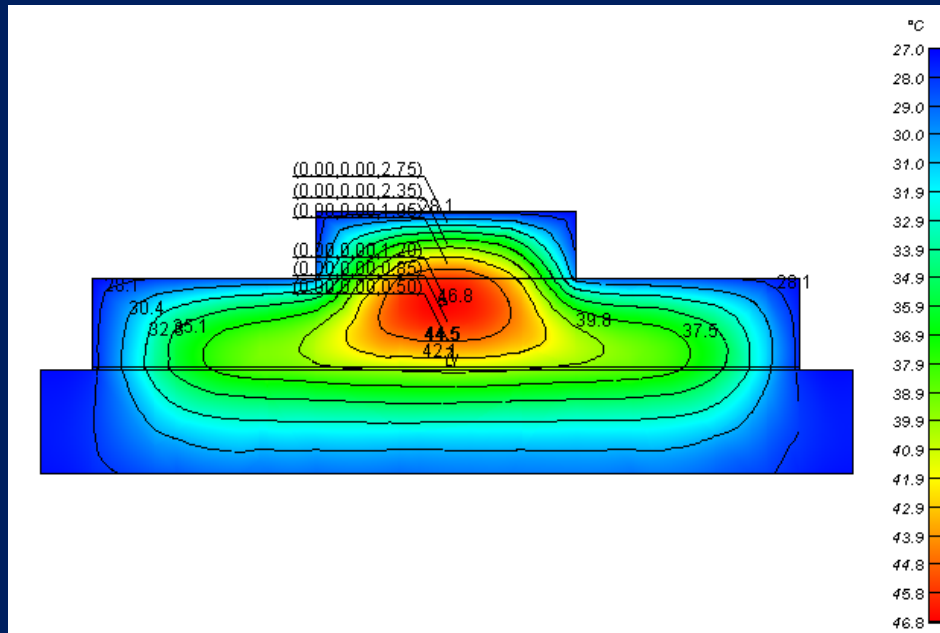
Estrutura	Caso	Altura máxima da camada (m)	Temperatura de lançamento (°C)	IL(dias)
BLOCO DE FUNDAÇÃO	I	1ª CAMADA=1,70	-14	3
	II		25	
	III	2ª CAMADA=1,30	35	

# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?

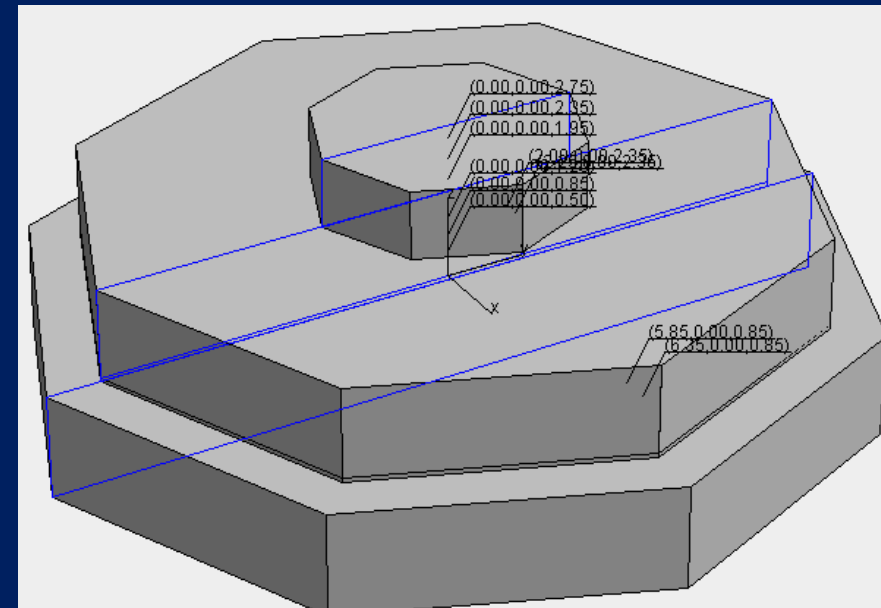




## ISOTERMAS – SOFTWARE B4CAST

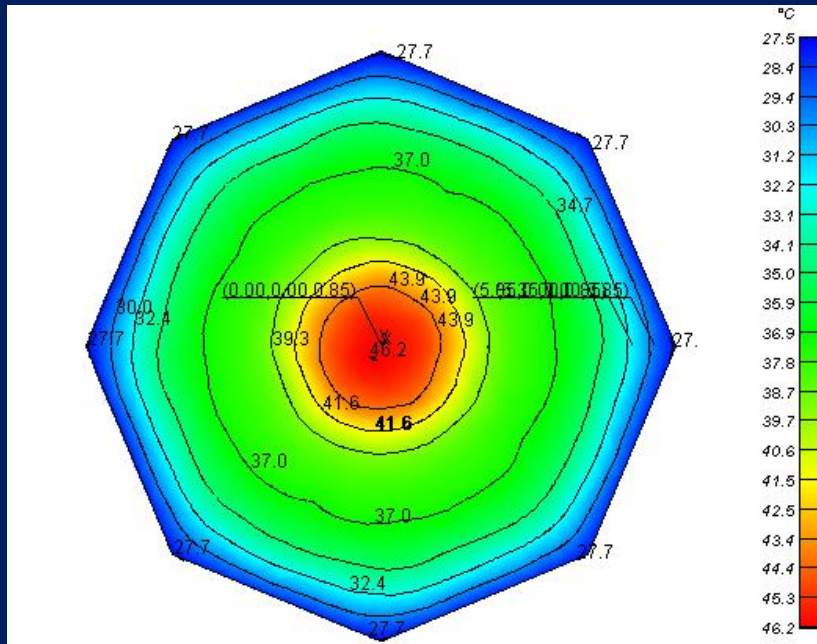


Isotermas na seção longitudinal 222 horas após o início da concretagem (TL=25°C)

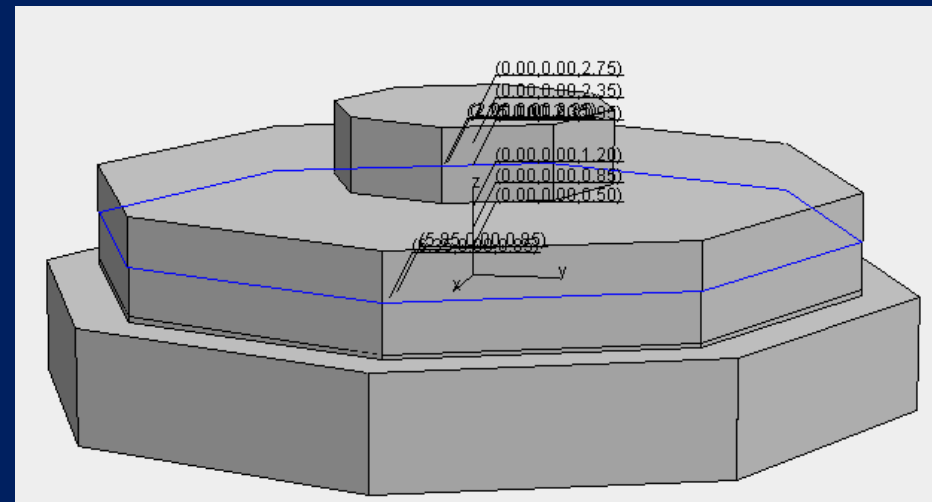


Localização da seção de análise - d=6,30m (Contorno azul)

## ISOTERMAS – SOFTWARE B4CAST



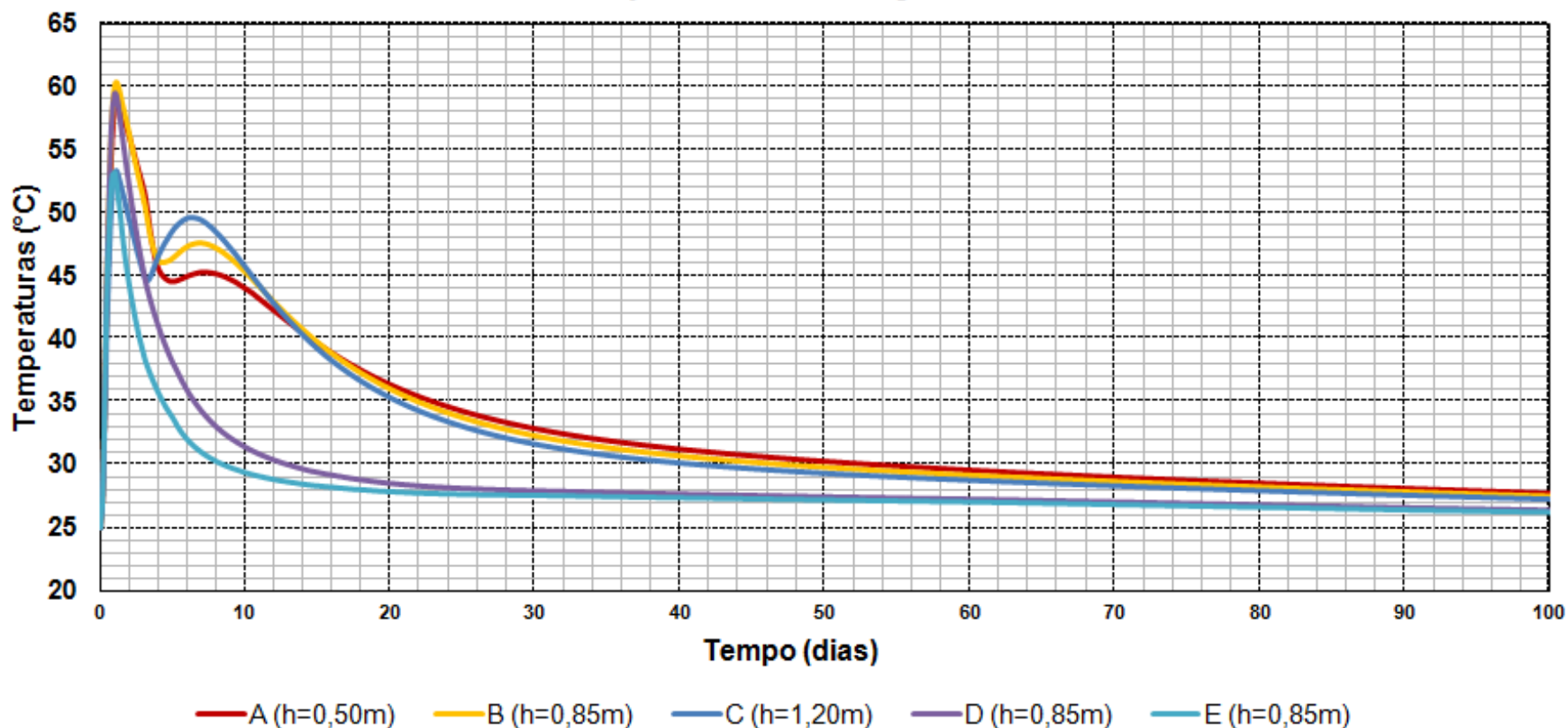
Isotermas em planta - 222 horas após o início da concretagem (TL=25°C)



Localização da seção de análise -  $h=0,85m^{(2)}$   
(Contorno azul)

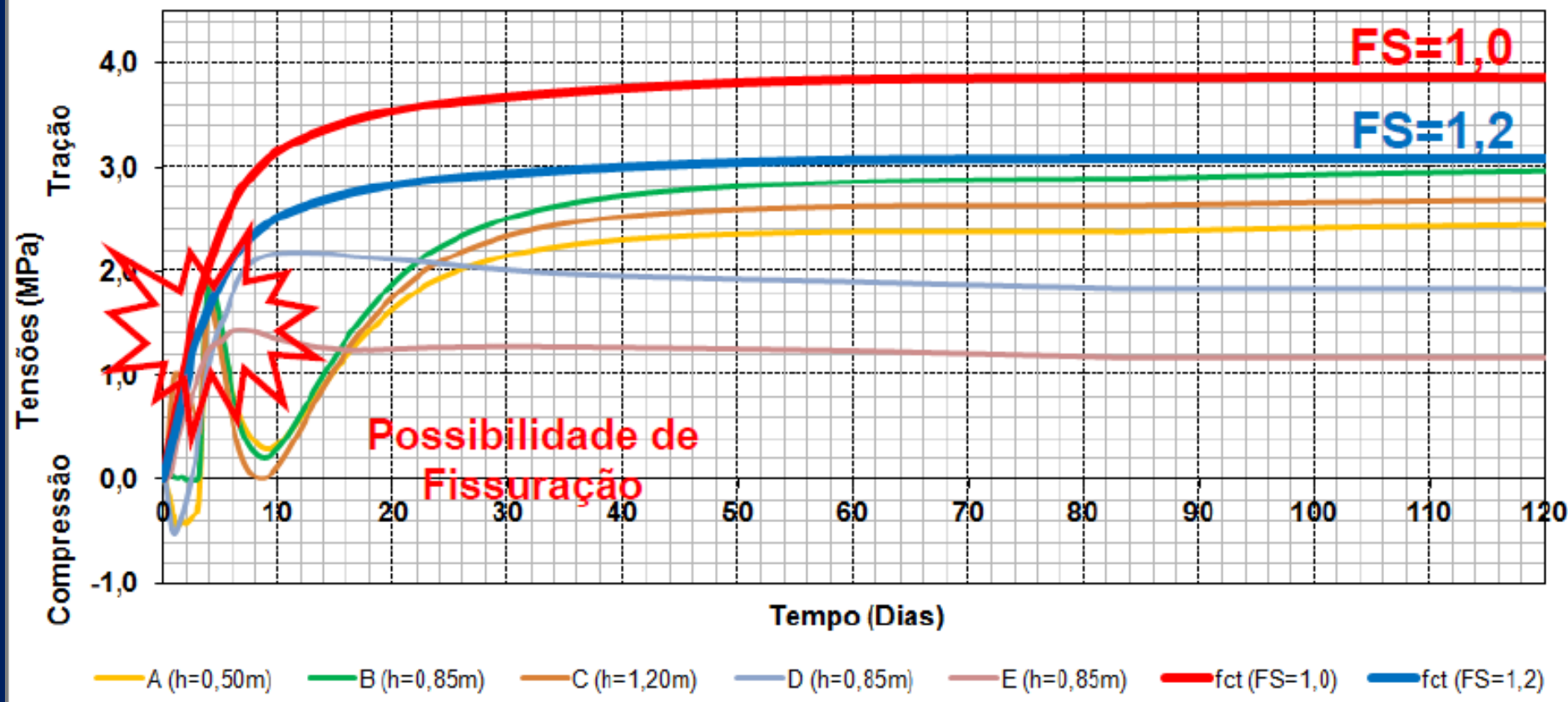
## EVOLUÇÃO DAS TEMPERATURAS

Evolução das Temperaturas - Base das Torres Eólicas - União dos Ventos  
Temperatura de Lançamento de 25°C



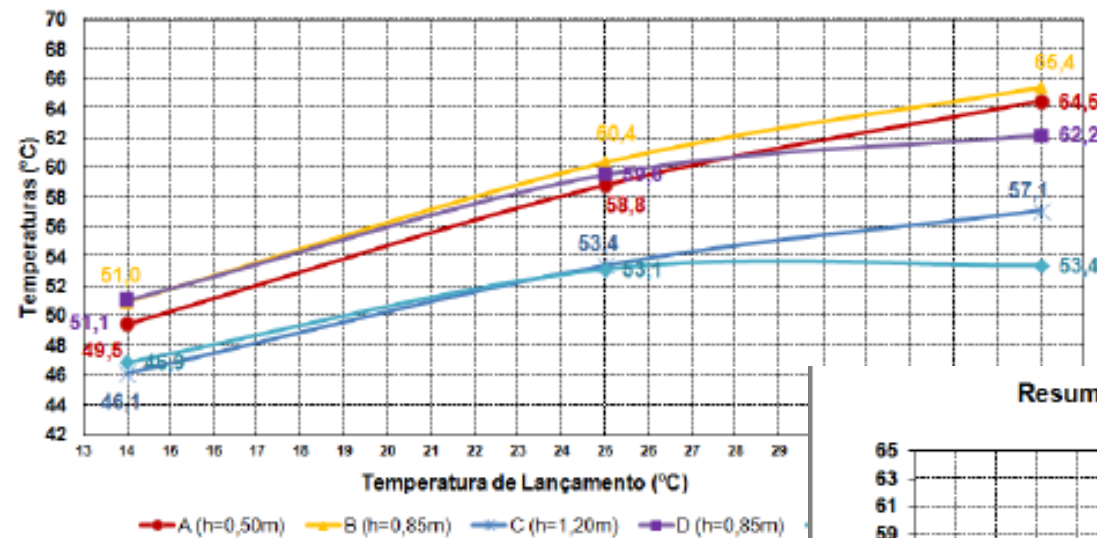
## EVOLUÇÃO DAS TENSÕES

Evolução das Tensões Principais Maiores - Base das Torres Eólicas  
União dos Ventos-TL=25°C



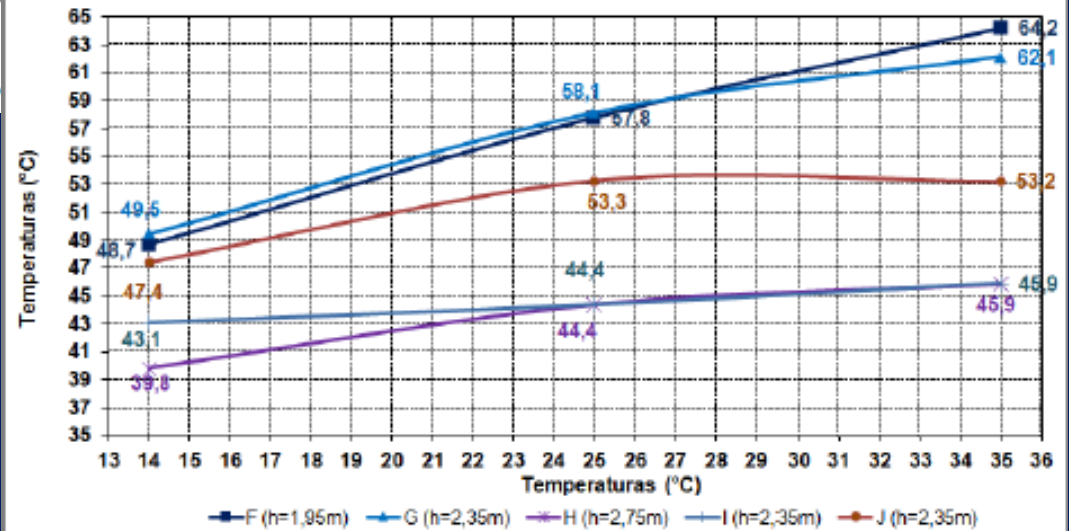
## RESUMO DAS MÁXIMAS TEMPERATURAS

Resumo das Máximas Temperaturas - Base das Torres Eólicas  
1ª Camada - União dos Ventos - Natal/RN



**ETRINGITA TARDIA**  
 **$T_{\text{máx}} \leq 65^{\circ}\text{C}$**

Resumo das Máximas Temperaturas - Base das Torres Eólicas  
2ª Camada - União dos Ventos - Natal/RN

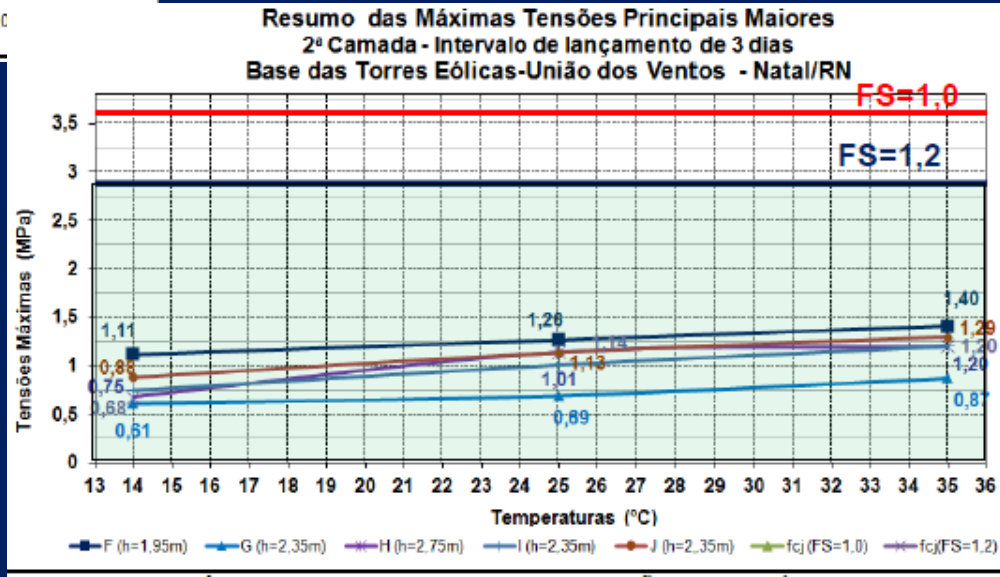
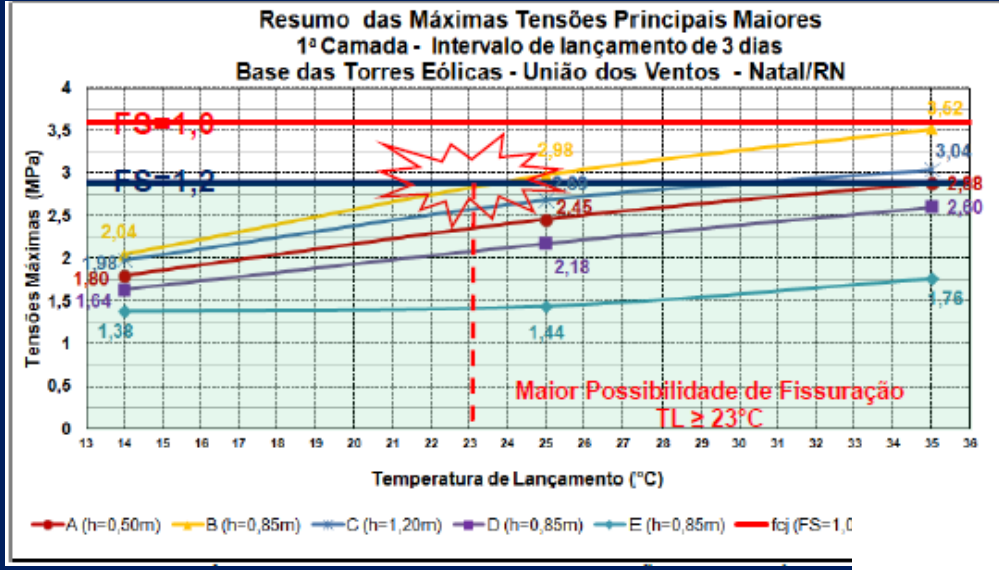




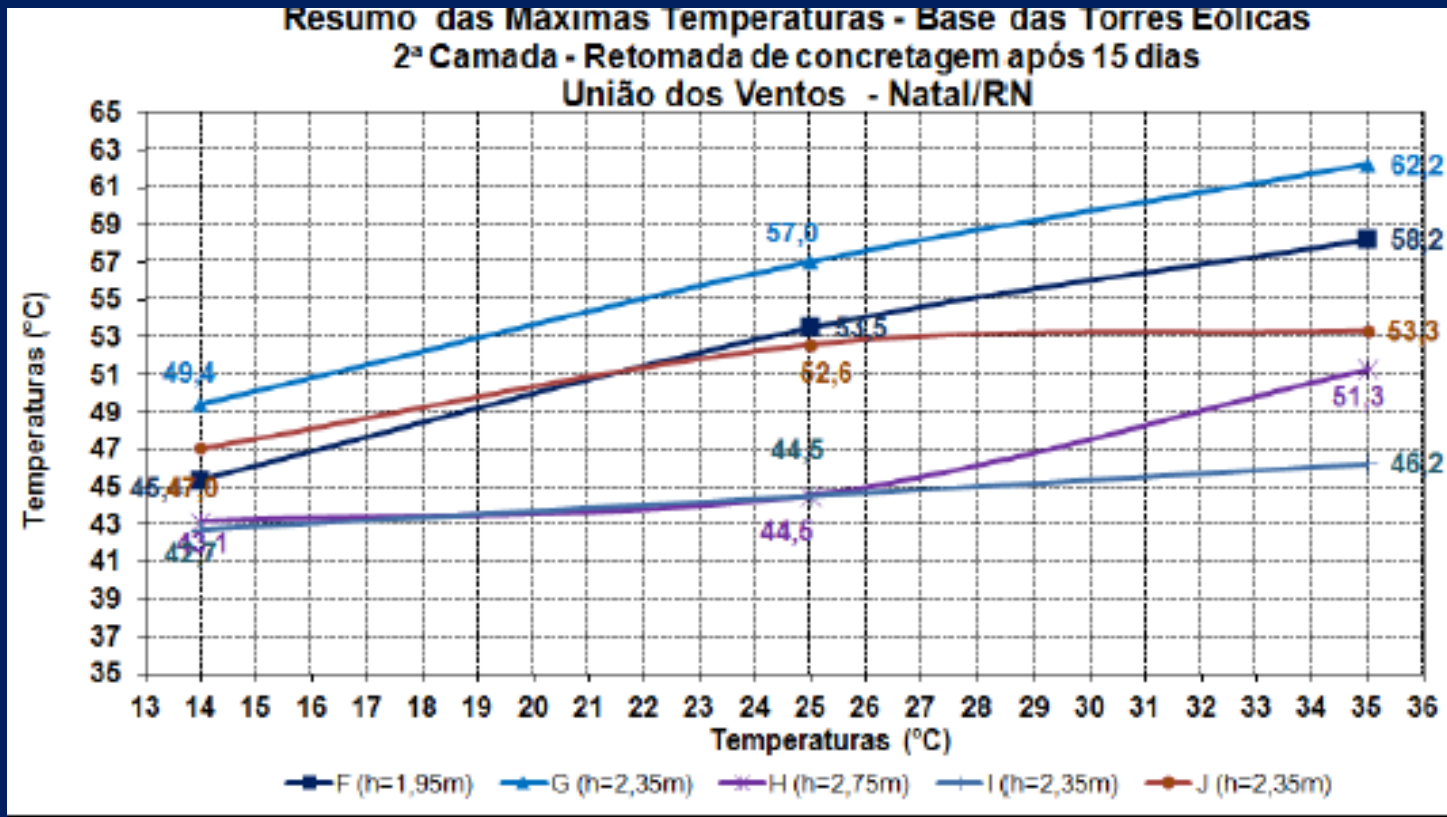


# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?

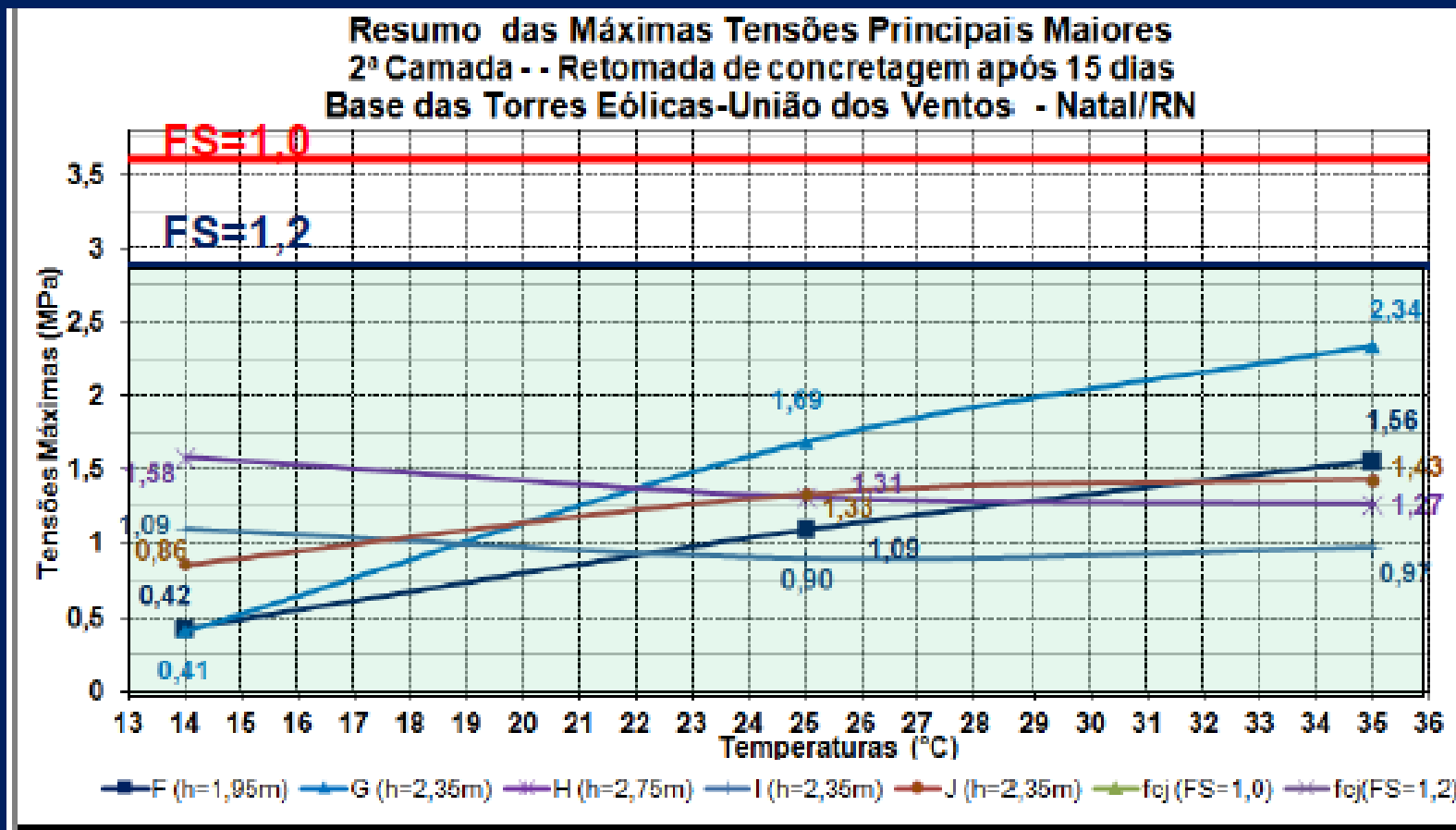
## RESUMO DAS MÁXIMAS TENSÕES



## RESUMO DAS MÁXIMAS TENSÕES E TEMPERATURAS – RETOMADA DE 15 DIAS



# RESUMO DAS MÁXIMAS TENSÕES E TEMPERATURAS – RETOMADA DE 15 DIAS



# RESULTADO DA ANÁLISE TÉRMICA E TENSIONAL

- De acordo com o resumo de tensões máximas apresentado, nota-se que o ponto C, localizado na 1ª camada de altura igual a 1,70m, apresenta maior probabilidade de fissuração para temperatura de lançamento maior que 23°C considerando FS=1,2.
- Os pontos localizados na 2ª camada de altura igual a 1,30m, apresentam menor probabilidade de fissuração para temperatura de lançamento do concreto inferiores a 35°C.
- Considerando que seja realizada uma parada superior a 15 dias, os pontos localizados na 2ª camada de altura igual a 1,30m, mantém menor probabilidade de fissuração para temperatura de lançamento do concreto inferior a 35°C.

# RESULTADO DA ANÁLISE TÉRMICA E TENSIONAL

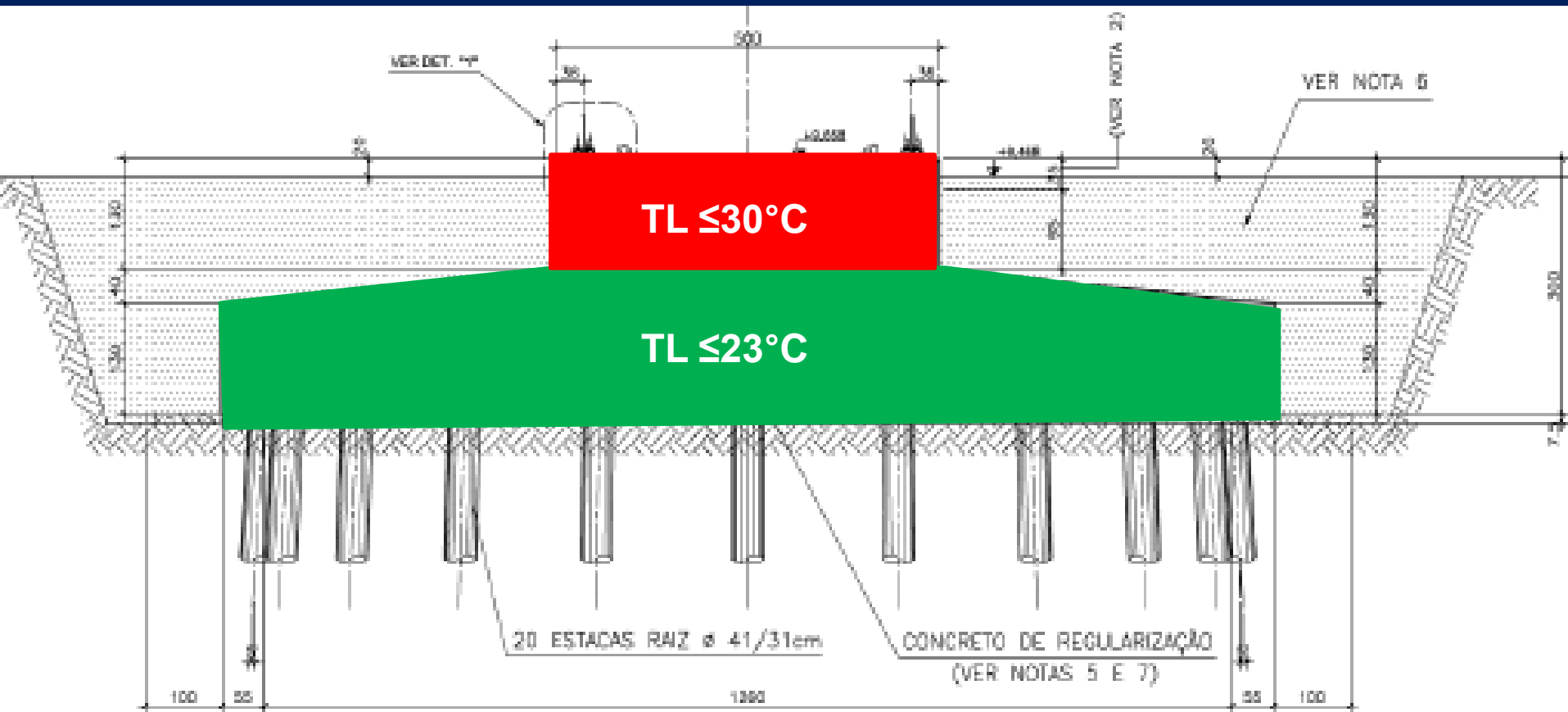
Considerando as condições ambientais que estas peças estarão sujeitas (altas temperaturas e velocidade do vento, principalmente), recomenda-se que o concreto não seja lançado a uma temperatura superior a 30°C. Considerando estas condições adversas, caso o concreto seja lançado a temperaturas superiores a 30°C, a pega do concreto é acelerada, o abatimento ou trabalhabilidade da mistura é reduzido além de propiciar uma evaporação rápida da mistura podendo potencializar o aparecimento de fissuras de retração por secagem, além de poder dificultar o adensamento do material.



## RESULTADO DA ANÁLISE TÉRMICA E TENSIONAL

Base de concreto	Altura da camada (m)	Substituição da água de amassamento por gelo (%)	Quantidade de gelo, excluindo-se a umidade dos agregados (kg/m <sup>3</sup> )	Volume teórico (m <sup>3</sup> ) por unidade	Quantidade total de gelo (t) por unidade	Considerando 106 bases de concreto (t)
1ª Camada	1,70	60	74	233	17,2 t	1823,2 t
2ª Camada	1,30	30	37	27	1,00 t	106 t

## ZONEAMENTO DE TEMPERATURAS DE LANÇAMENTO



## BALANÇO TÉRMICO – CONCRETO S/ REFRIGERAÇÃO

Materiais	Consumo	Calor esp.	q = mc	E	Ti	Tf	Ti - Tf	Quant. Calor	(kcal/m³)
	(kg/m3)	(kcal/kg.C)	(kcal/m³.°C)	(kcal/m³)	( C )	( C )	( C )	Positivo	Negativo
Mistura									
Cimento	342,0	0,159	54,38	54,38	50,0		50,0	2718,90	
Metacaulim	47,9	0,210	10,06	10,06	30,0		32,0	321,89	
Areia	701,0	0,228	159,83	159,83	30,0		32,0	5114,50	
Brita 0	359,2	0,228	81,90	81,90	30,0		32,0	2620,72	
Brita 1	718,4	0,228	163,80	163,80	30,0		32,0	5241,45	
Água	123,0	1,000	122,95	122,95	24,0		28,0	3442,60	
Aditivo	5,8	1,000	5,80	5,80	24,0		28,0	162,40	
Umidade miúdo (5%)	35,1	1,000	35,05	35,05	30,0		32,0	1121,60	
Umidade gráudo (1%)	0,0	1,000	0,00	0,00	30,0		32,0	0,00	
Mistura Betoneira	-	-	-	-	-	-	-	2000,00	
Equivalente em água (E=mc) =	633,8	kcal/m³							
Quantidade total de calor (Q) =	22744,1	kcal/m³.°C							
Calor específico (c) =	0,27	kcal/kg.°C							
Condutividade Térmica (k)=	3,36	kcal/m.h°C							
Temperatura de saída do concreto da betoneira (Q / E) =							Tc =	35,9 °C	
Ganho de temperatura no transporte até o local de lançamento =							Tt =	2,0 °C	
Temperatura de lançamento do concreto =							TL =	37,9 °C	

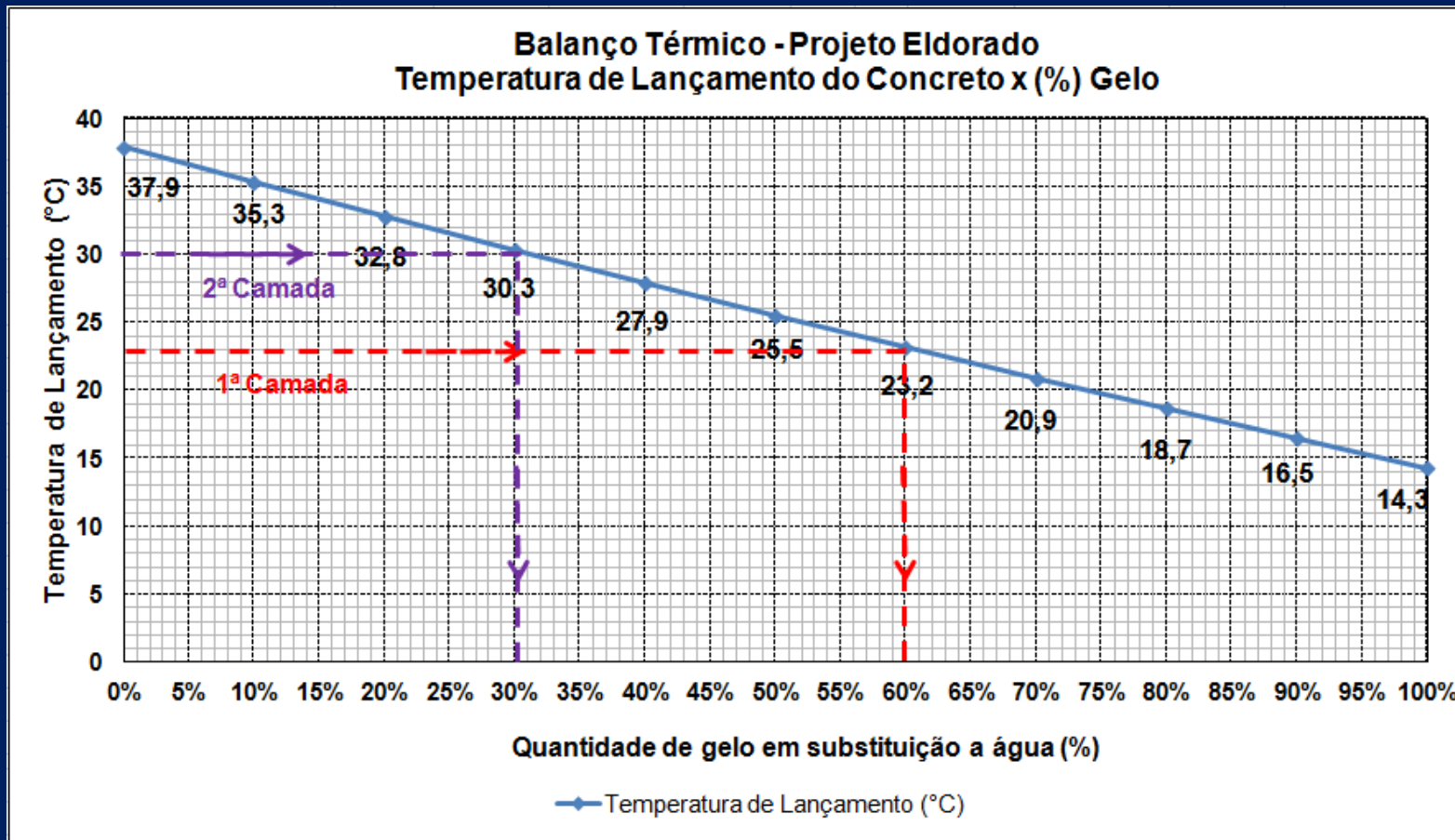


# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?

## BALANÇO TÉRMICO CONCRETO (100 % de gelo)

Materiais e Mistura	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	Calor esp. (kcal/kg.C)	q = mc (kcal/m <sup>3</sup> .C)	E (kcal/m <sup>3</sup> )	Ti (C)	Tf (C)	Ti - Tf (C)	Quant. Calor (kcal/m <sup>3</sup> )	
								Positivo	Negativo
Cimento	342,0	0,159	54,38	54,38	50,0		50,0	2718,90	
Metacaulim	47,9	0,210	10,06	10,06	30,0		32,0	321,89	
Areia	701,0	0,228	159,83	159,83	30,0		32,0	5114,50	
Brita 0	359,2	0,228	81,90	81,90	30,0		32,0	2620,72	
Brita 1	718,4	0,228	163,80	163,80	30,0		32,0	5241,45	
Água	0,0	1,000	0,00	0,00	24,0		28,0	0,00	
Aditivo	5,8	1,000	5,80	5,80	24,0		28,0	162,40	
Gelo (100%)	123,0	0,500	61,48	61,48	-5,0	0,0	-5,0		-307,38
Fusão do gelo	123,0			0,00					-9836,00
Gelo/água	123,0	1,000	122,95	122,95	-5,0	0,0	-5,0		-614,75
Umidade miúdo (5%)	35,1	1,000	35,05	35,05	30,0		32,0	1121,60	
Umidade gráudo (1%)	0,0	1,000	0,00	0,00	30,0		32,0	0,00	
Mistura Betoneira	-	-	-	-	-	-	-	2000,00	
Equivalente em água (E=mc.1°C) =		695,23			kcal/m <sup>3</sup>				
Quantidade total de calor (Q) =		8543,33	kcal/m <sup>3</sup> .C						
Temperatura de saída do concreto da betoneira (Q / E) =							Tc =	12,3 °C	
Ganho de temperatura no transporte até o local de lançamento =							Tt =	2,0 °C	
Temperatura de lançamento do concreto =							TL =	14,3 °C	

## BALANÇO TÉRMICO





## REFRIGERAR APENAS A ÁGUA DE AMASSAMENTO É SUFICIENTE?



# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?



# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?





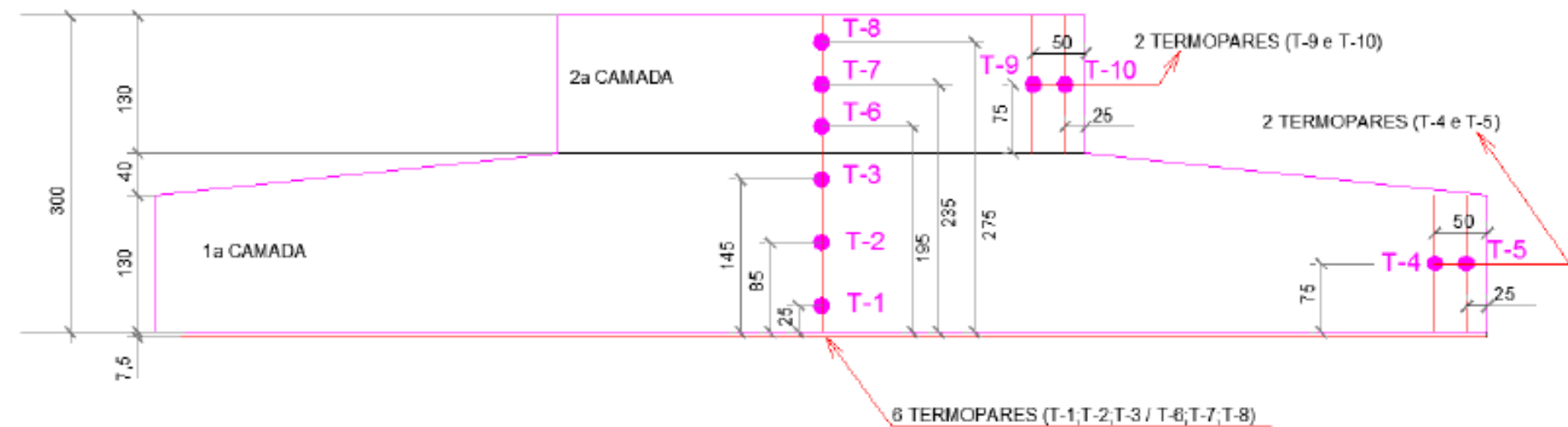


# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?



**CONCRETAGEM NOTURNA?**



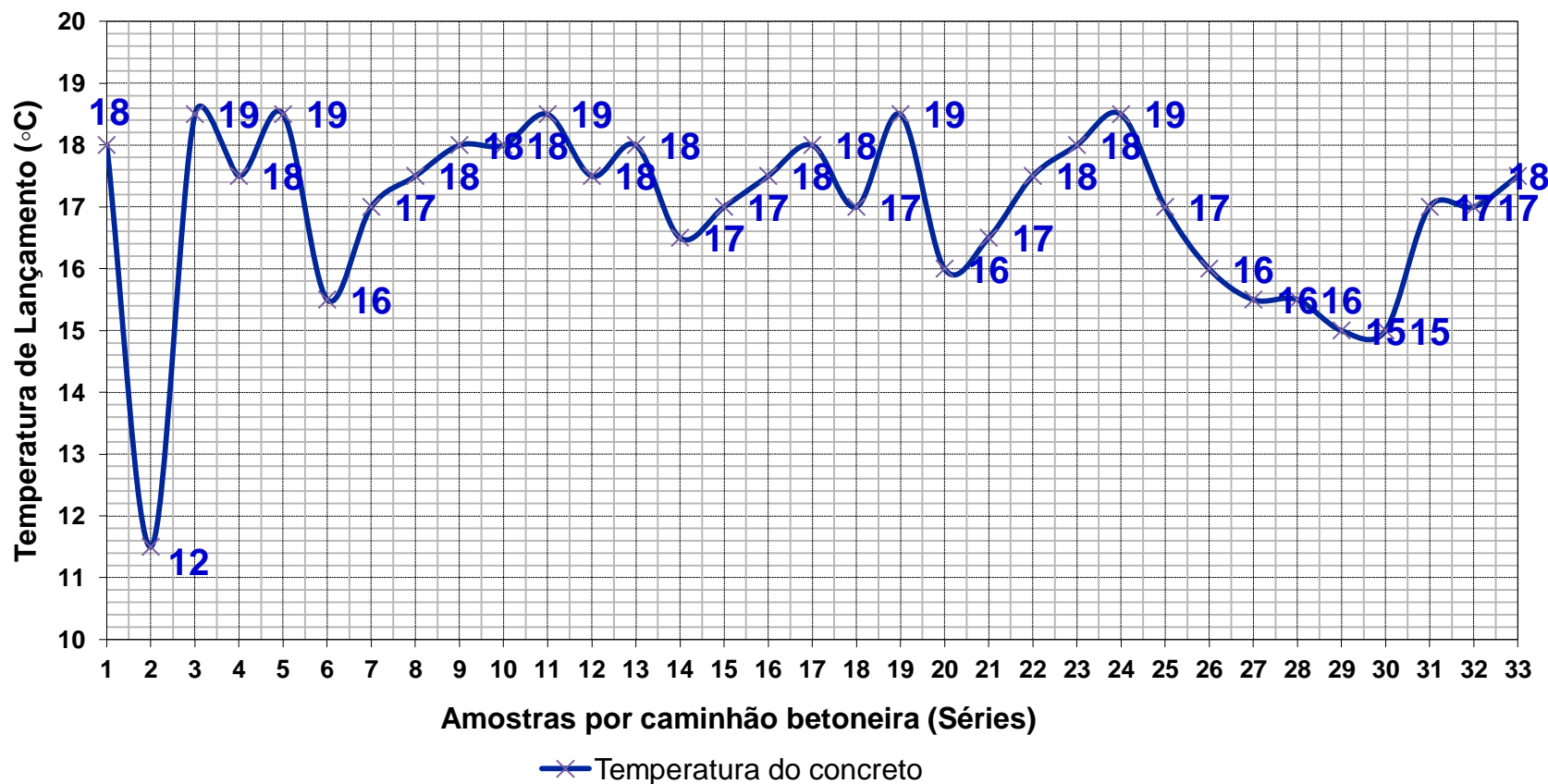


- Leituras a cada 4 horas, após o lançamento de cada camada, até que a temperatura máxima seja atingida (aproximadamente a 32 horas do lançamento de cada camada).
- Após atingir o pico de temperatura - 8 horas durante o período de 10 dias.
- Após este período serão realizadas leituras a cada 5 dias por um período de aproximadamente 30 dias.



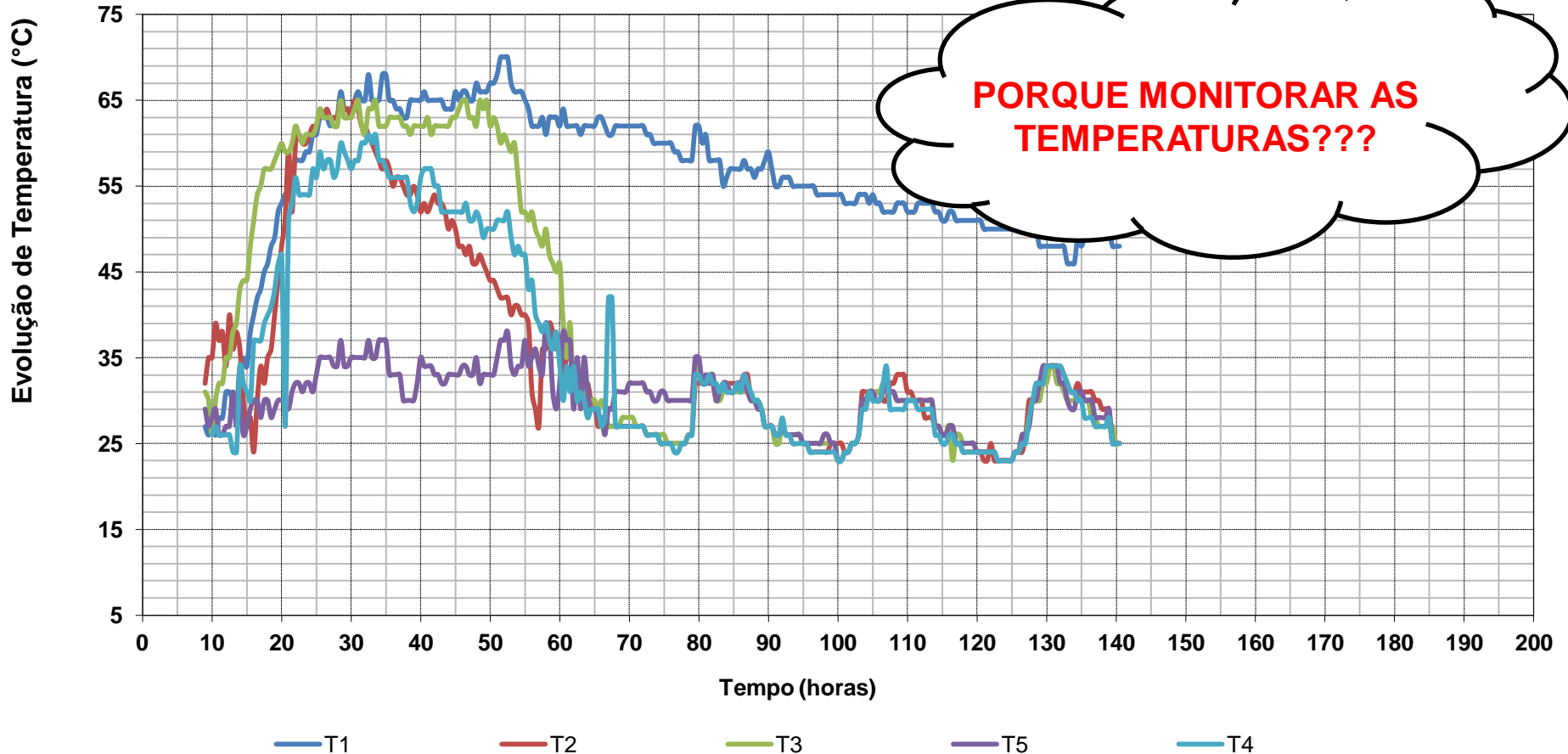
## CONTROLE DA TEMPERATURA DE LANÇAMENTO DO CONCRETO FRESCO

Controle da Temperatura de Lançamento do Concreto Fresco



## Leitura dos termopares – 1ª Camada

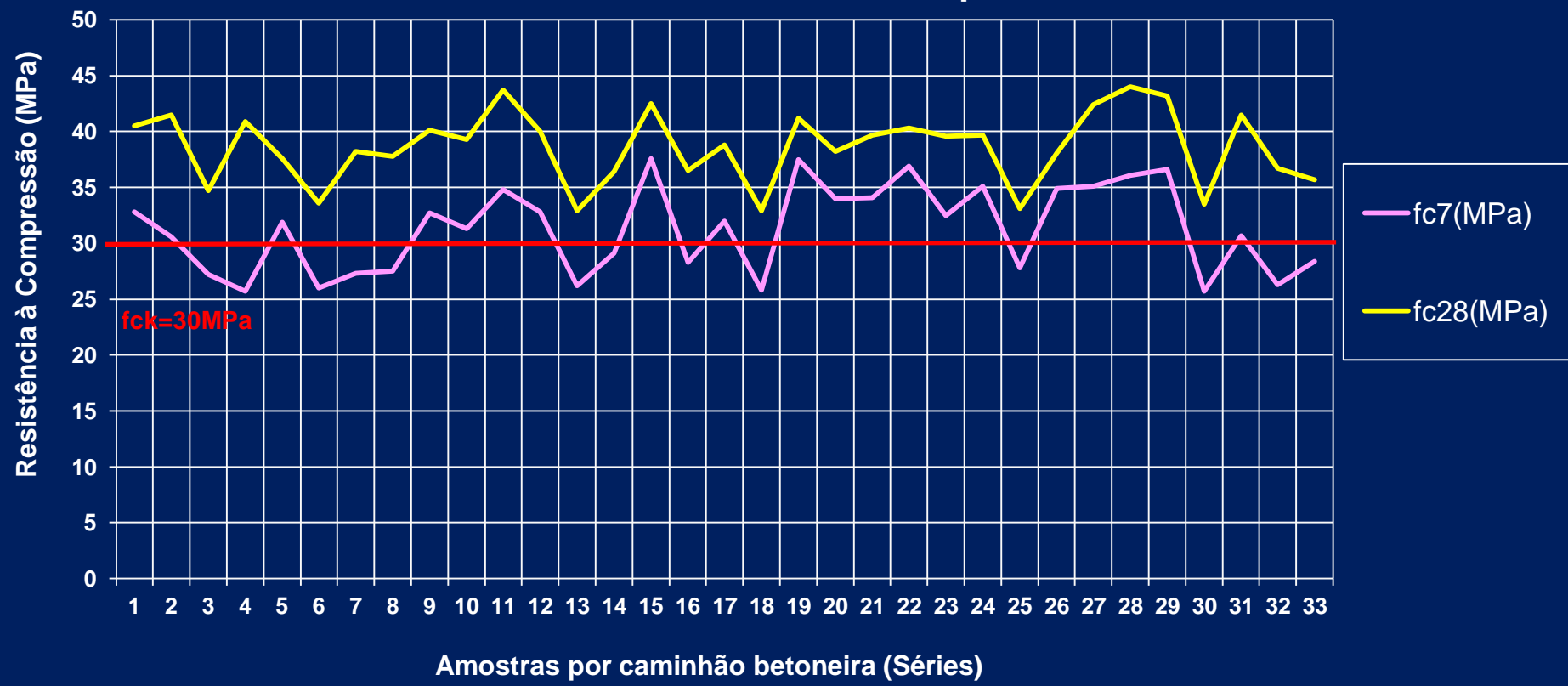
Evolução da temperatura do concreto - Termopares





# CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Parque Eólico União dos Ventos  
Resultados de Resistência à Compressão



## ESTUDOS TERMICOS – PARQUE EÓLICO CASA NOVA

Proprietário: CHESF – Construção: Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda.



(Foto: CAVALCANTI et al, 2014 – Revista Concreto e Construções - IBRACON)

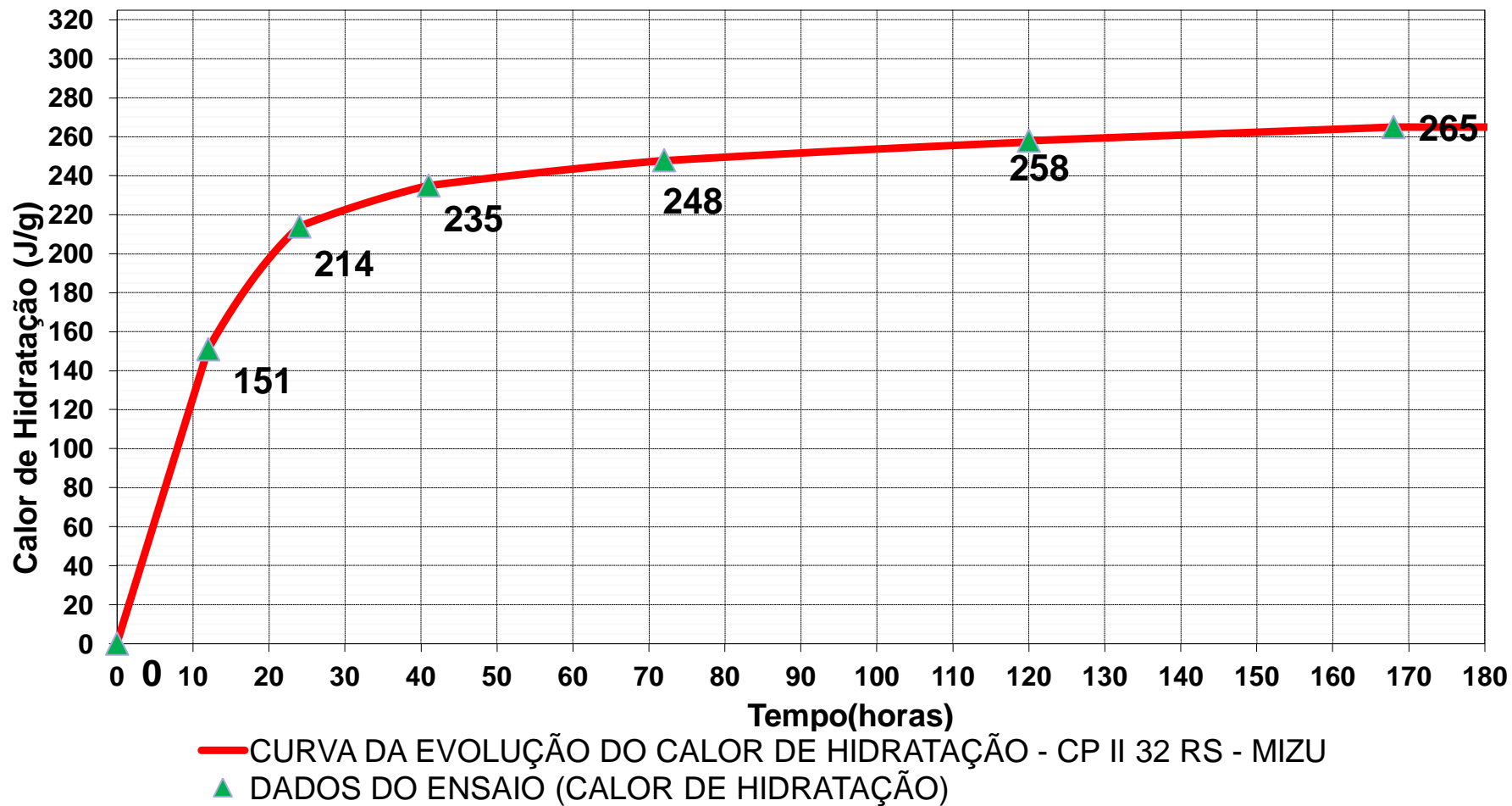


## ESTUDOS TERMICOS – PARQUE EÓLICO CASA NOVA

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  (cf. projeto)
- Relação a/c = 0,60
- Massa específica concreto =  $2300 \text{ kg/m}^3$
- **AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO SOLO DE APOIO**  
Estudo paramétrico: 70MPa, 1.000MPa, 10.000MPa e 24.000MPa

Material	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	310
Areia	800
Brita	1004
Água	186

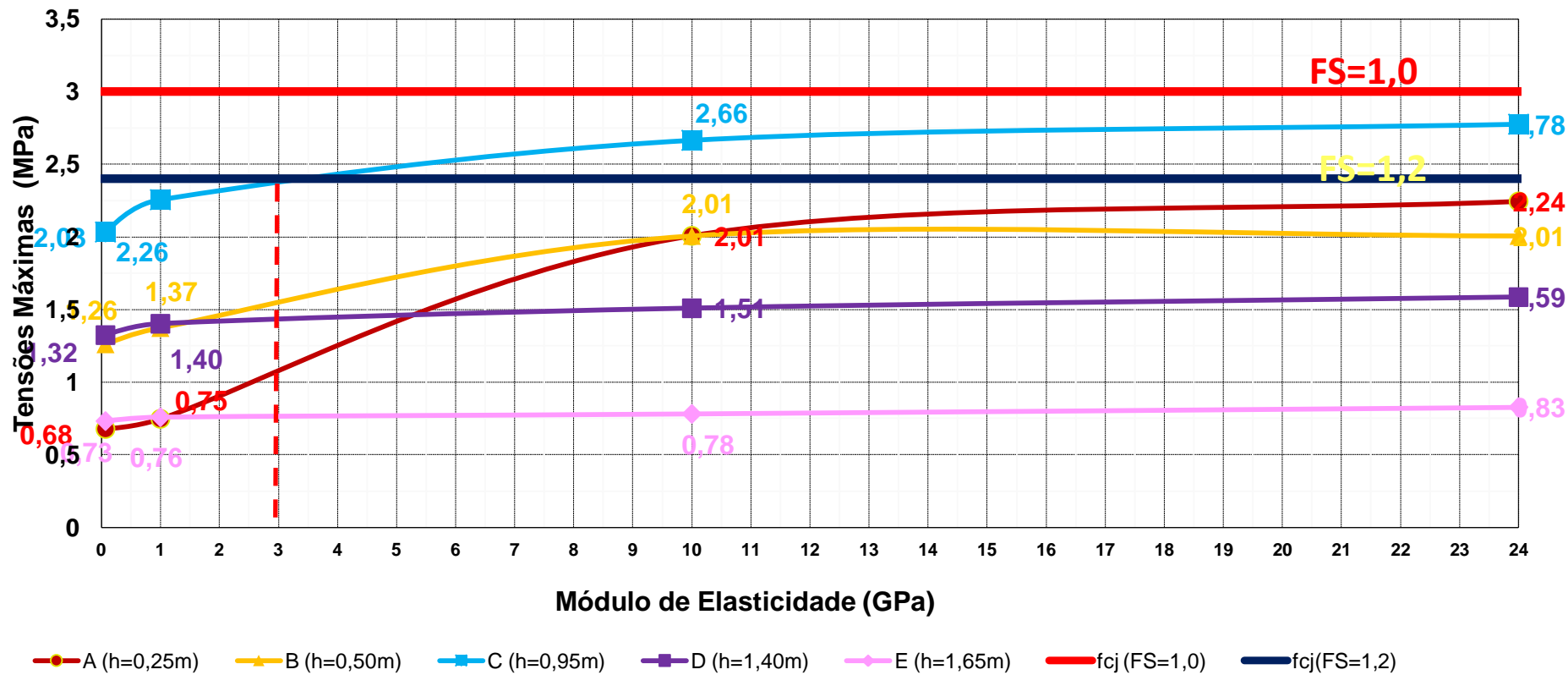
### Calor de Hidratação - Cimento Portland CP II 32 RS - (Mizu)





## PARQUE EÓLICO CASA NOVA

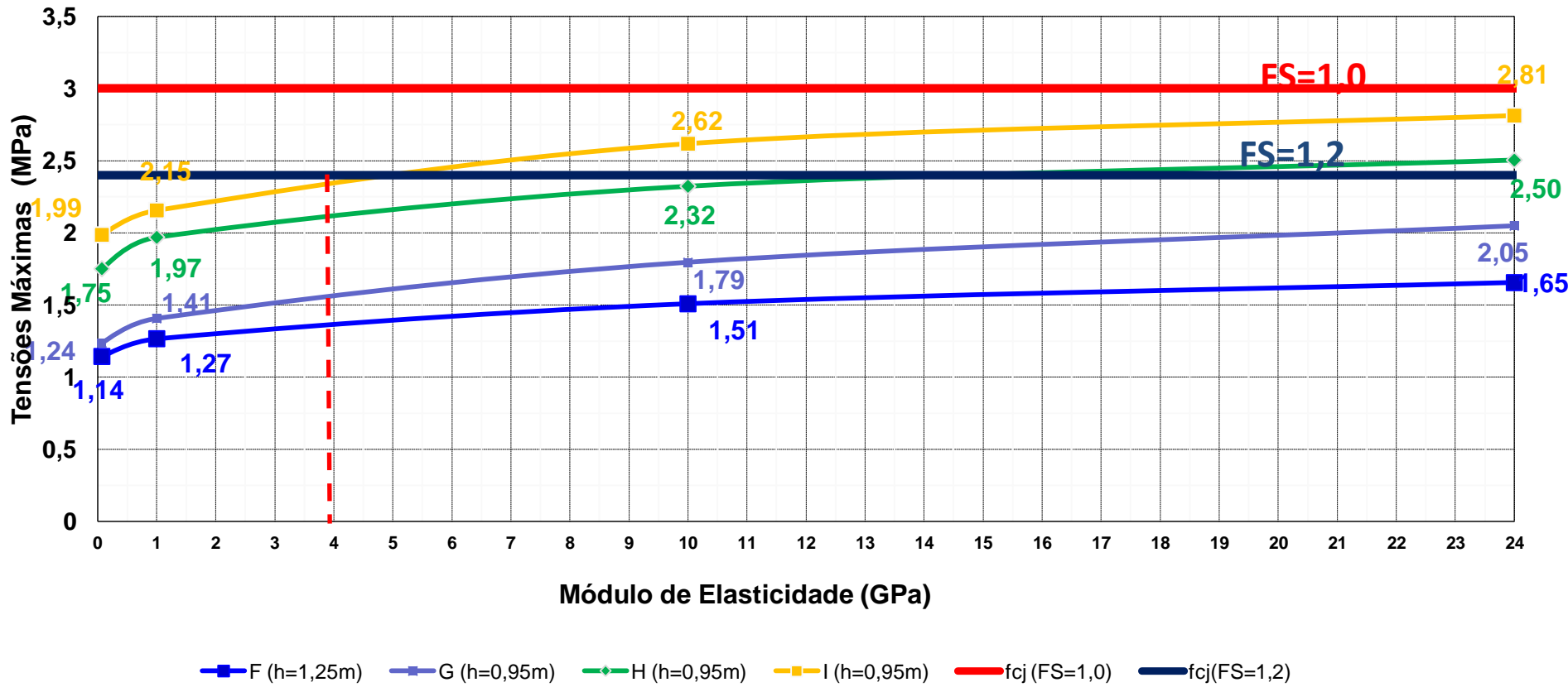
Resumo das Máximas Tensões Principais Maiores  
Bloco de Fundação -Casa Nova-BA -TL=35°C





## PARQUE EÓLICO CASA NOVA

Resumo das Máximas Tensões Principais Maiores  
Bloco de Fundação -Casa Nova-BA--TL=35°C

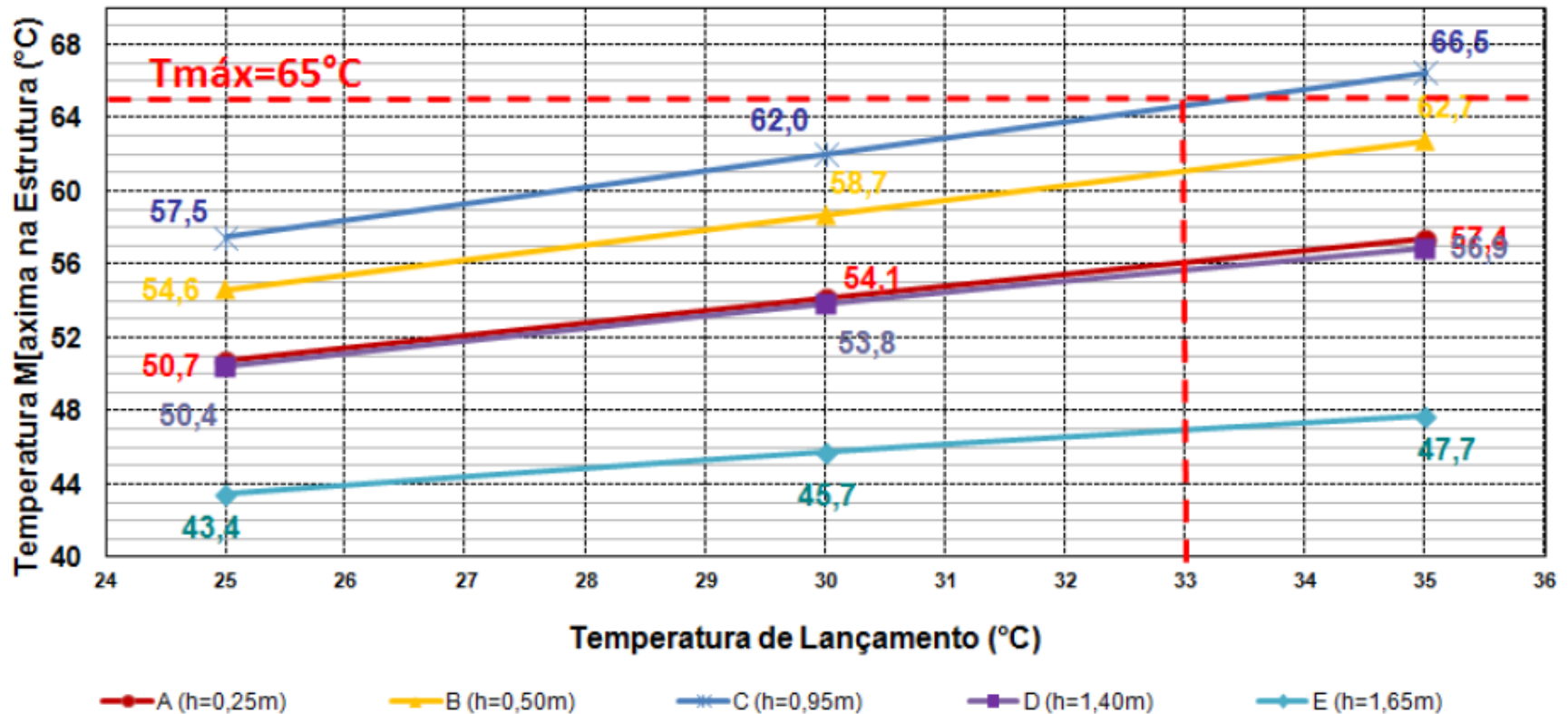


## CONCLUSÕES – MÓDULO DE ELASTICIDADE DA BASE DE APOIO E LATERAL

- $E \leq 3\text{GPa}$  (3.000MPa) o concreto poderia ser lançado em algumas regiões com 35°C sendo mínima a probabilidade de fissuração.
- Como não se dispunha do valor do módulo de elasticidade do solo a Desek realizou um estudo de temperaturas de lançamento considerando seu valor variável de 10.000MPa e 24.000MPa de modo a ser avaliada uma situação mais crítica.
- Neste caso consideraram-se temperaturas de lançamento do concreto de 25°C, 30°C e 35°C de maneira a se dispor de valores extremos para a estimativa.

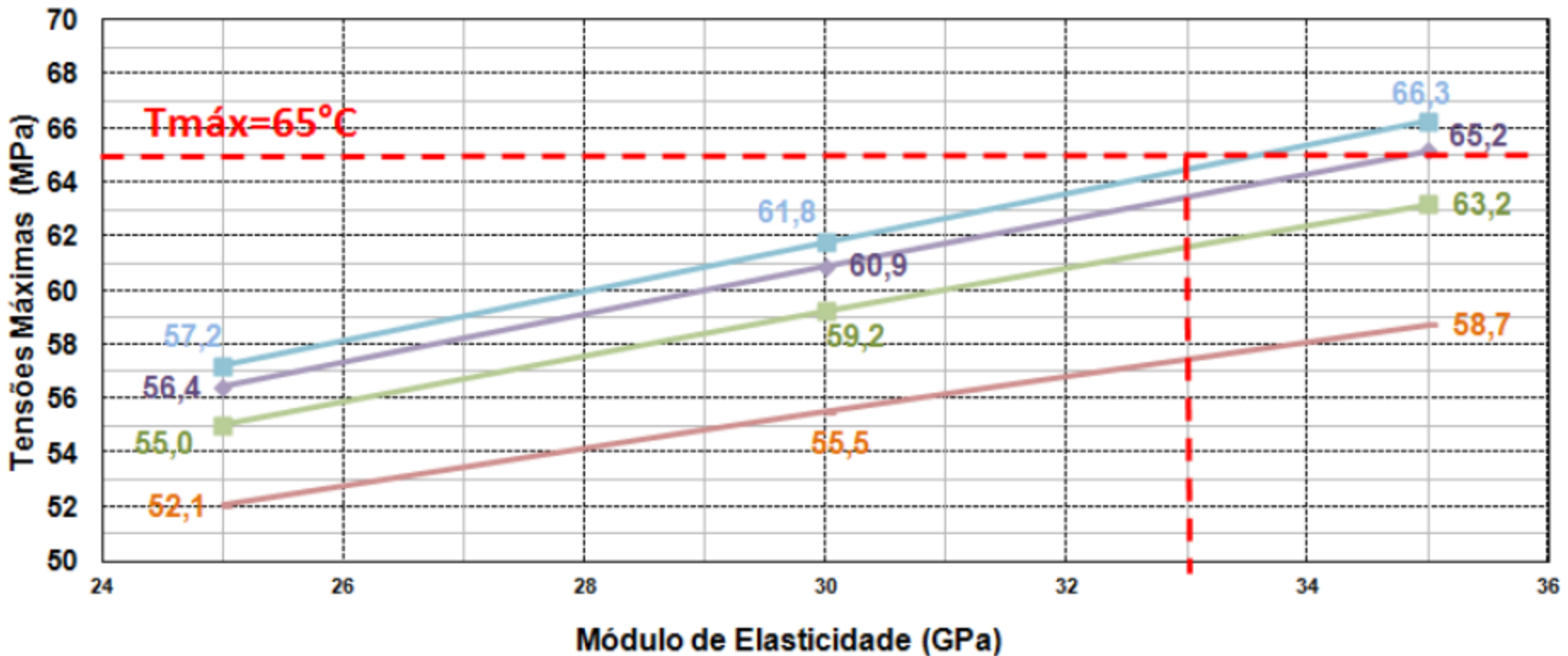
## Avaliação das temperaturas de lançamento

Resumo das Máximas Temperaturas  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA



## Avaliação das temperaturas de lançamento

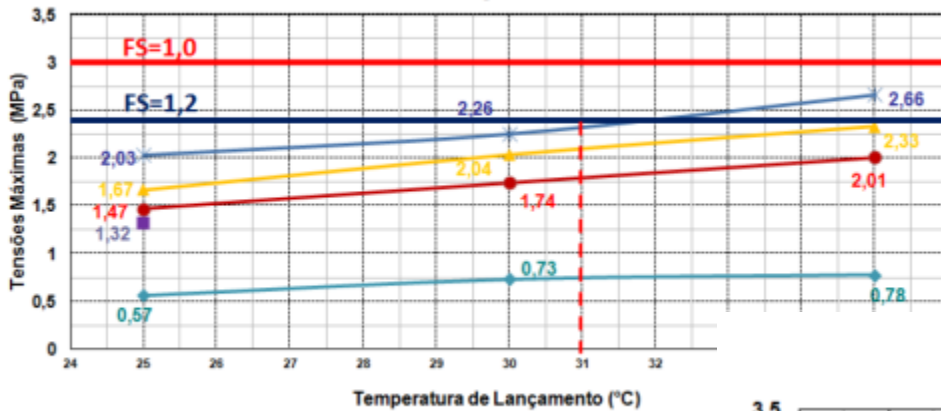
Resumo das Máximas Temperaturas  
Bloco de Fundação-Casa Nova-BA



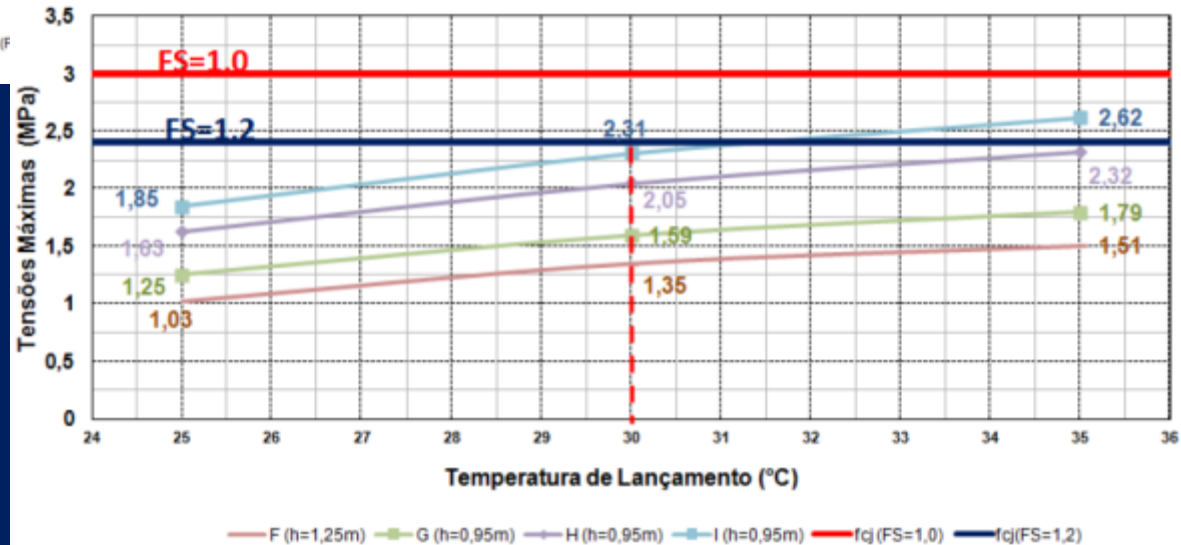


## Avaliação das tensões principais – Módulo da fundação de 10GPa

Resumo das Máximas Tensões - E=10000MPa  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA



Resumo das Máximas Tensões - E=10000MPa  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA

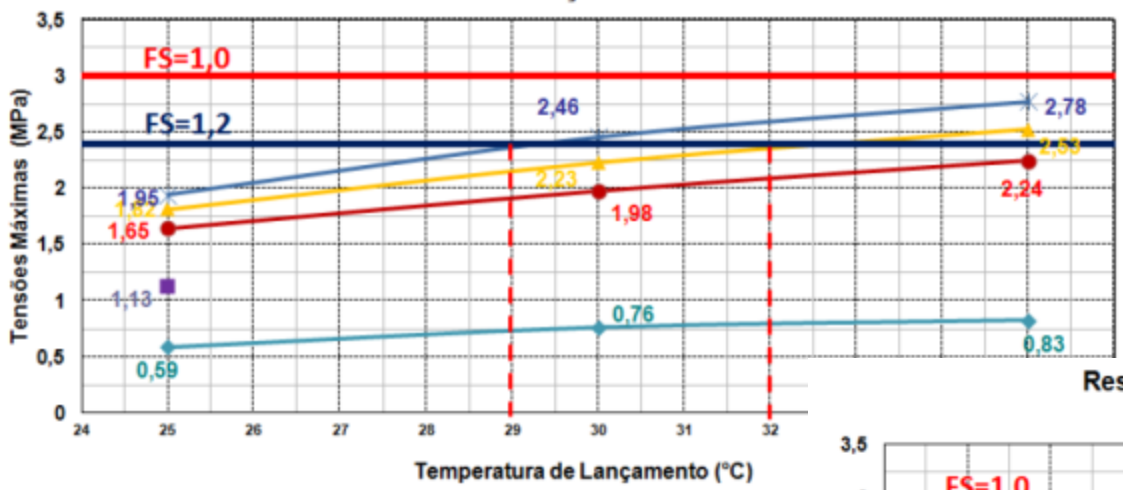




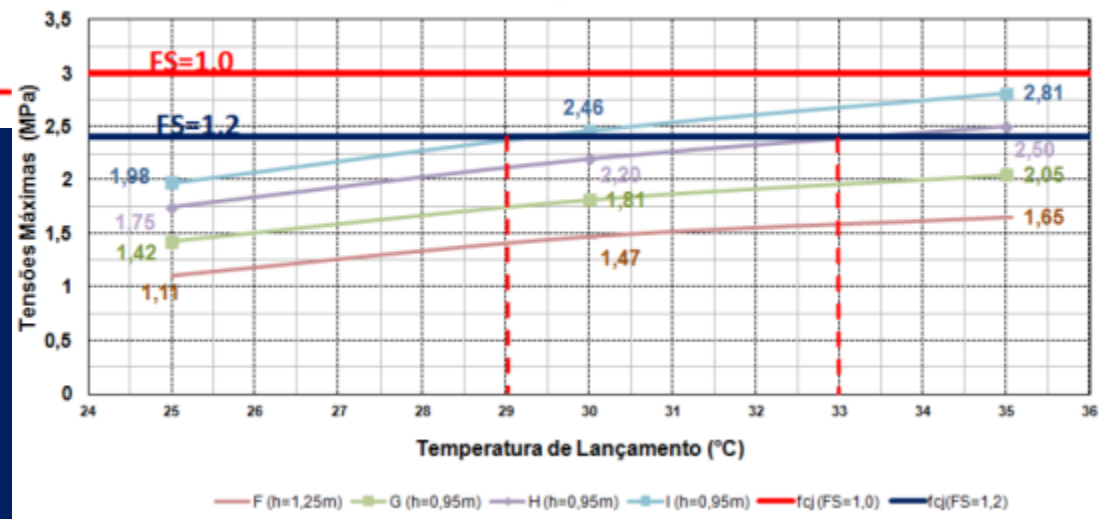


## Avaliação das tensões principais – Módulo da fundação de 24GPa

Resumo das Máximas Tensões - E=24000MPa  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA

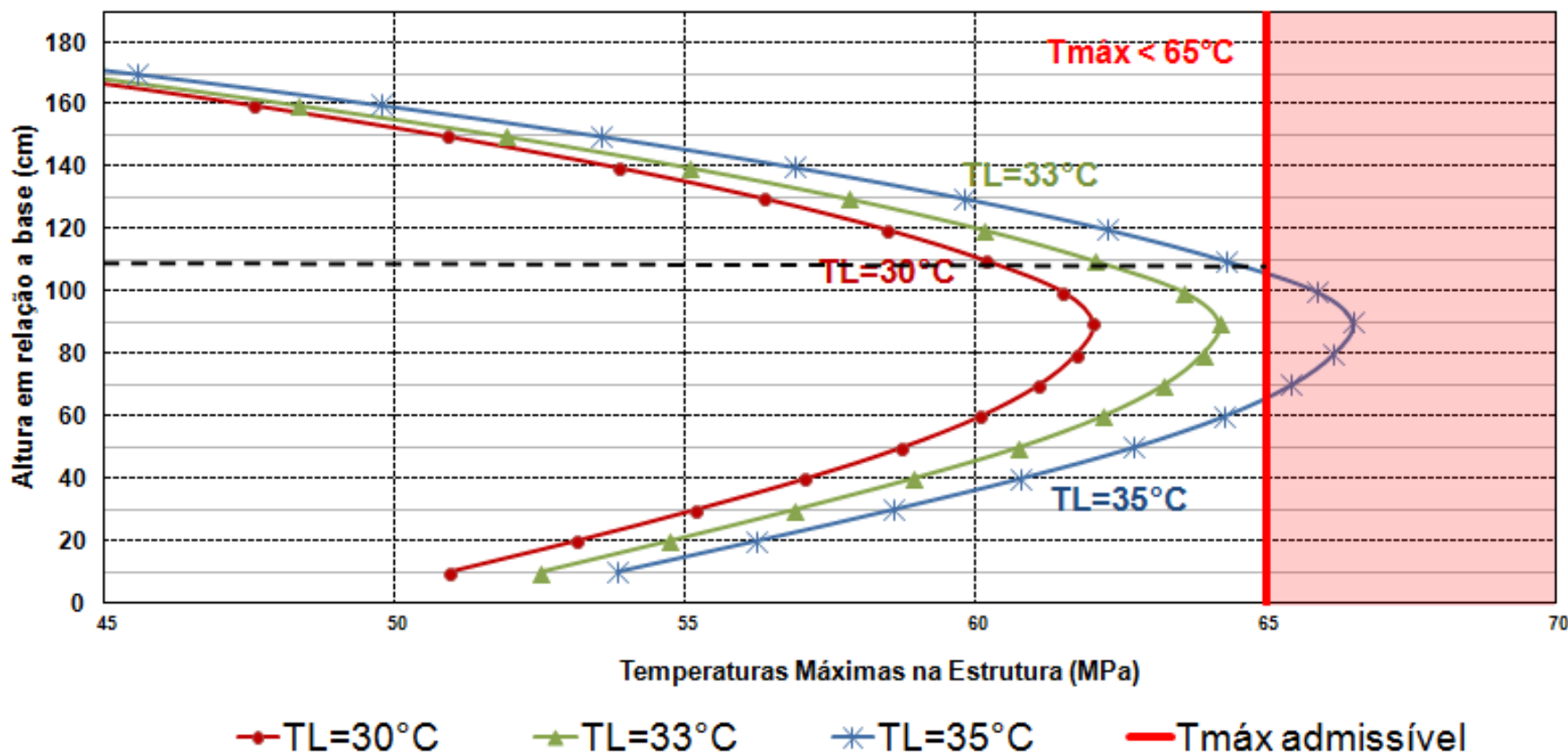


Resumo das Máximas Tensões - E=24000MPa  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA



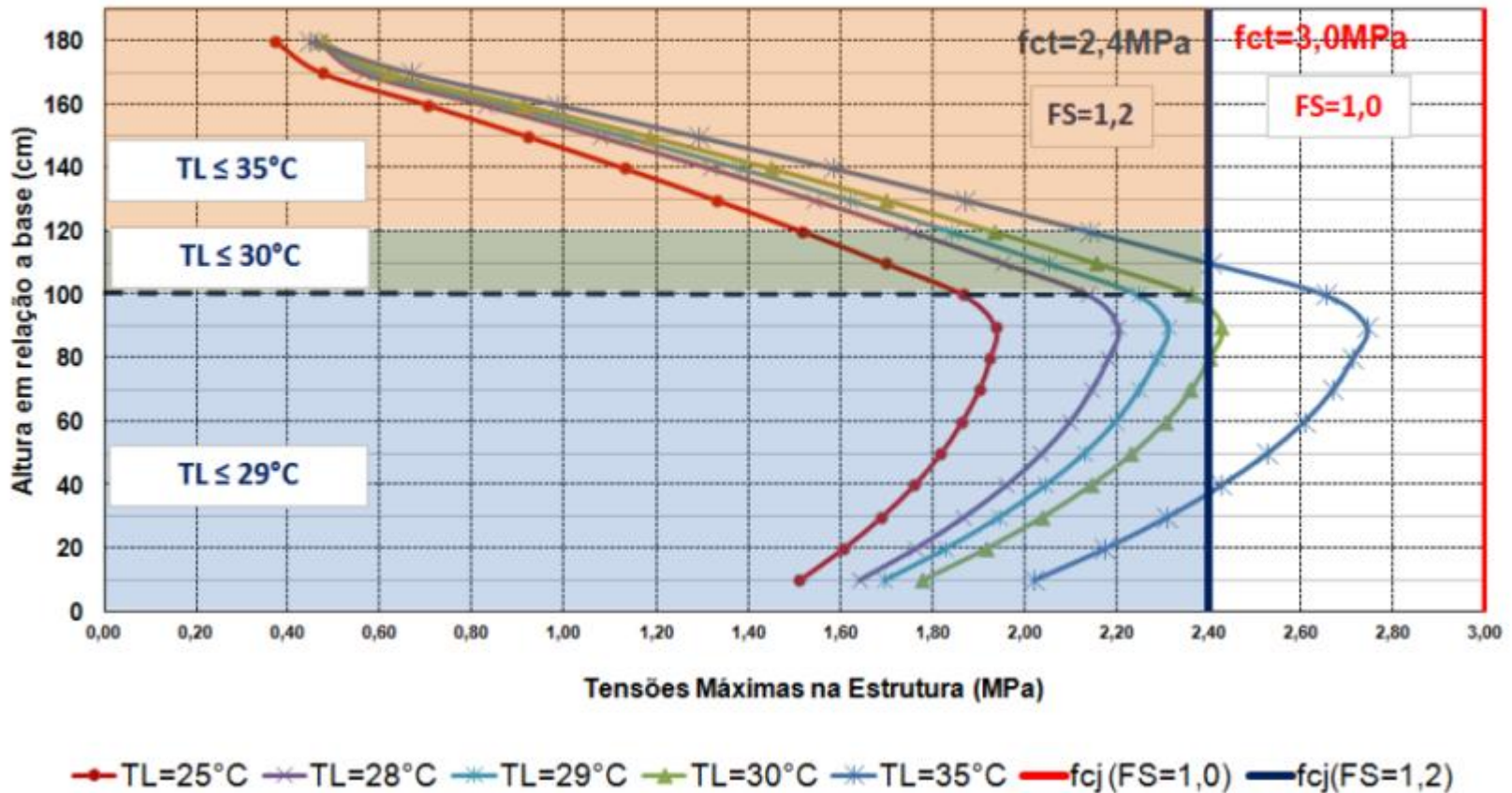
# Avaliação das tensões principais – Módulo da fundação de 24GPa

Resumo das Temperaturas Máximas na Estrutura  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA

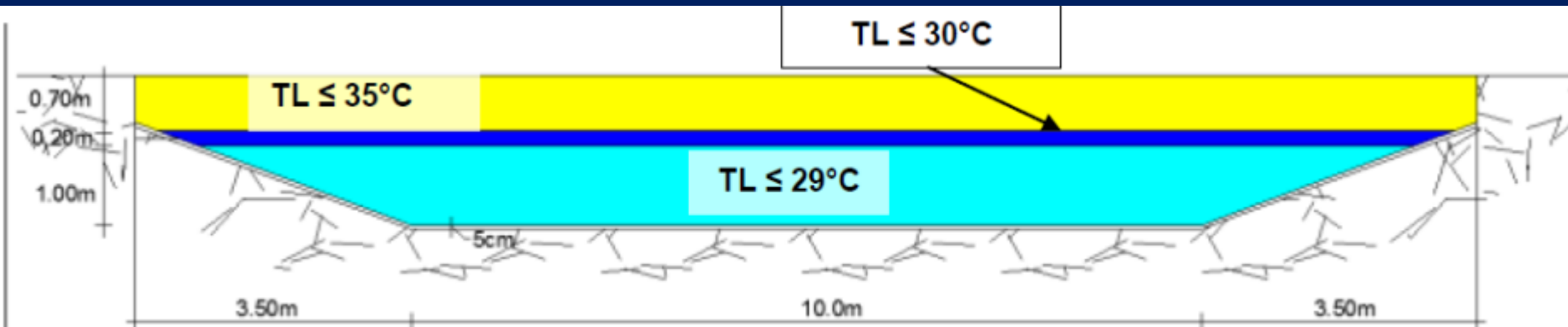


## Avaliação das tensões principais – Módulo de Elasticidade da fundação de 24GPa

Resumo das Máximas Tensões de Tração  
Bloco de Fundação - Casa Nova-BA



## ZONEAMENTO DE TEMPERATURA DE LANÇAMENTO DO CONCRETO



## CONCLUSÕES

- Os resultados apresentaram boa representatividade, comprovando a utilidade de aplicação deste tipo de estudo para definição de metodologia adequada visando minimizar a probabilidade de fissuração por tensões de origem térmica em bases de torres eólicas
- As simulações de tensões de origem térmica mostraram que a probabilidade de ocorrência de fissuração nas camadas de concretagem para as bases das torres eólicas é pequena para o concreto refrigerado
- Os termopares mostraram boa correlação considerando que os parâmetros térmicos relacionados ao concreto foram estimados e pode explicar as diferenças entre os picos de temperaturas de aproximadamente  $5^{\circ}\text{C}$  entre as temperaturas lidas e as obtidas por meio da simulação.

## RECOMENDAÇÕES

### MEDIDAS PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA PELO CONCRETO:

**PRÉ-REFRIGERAÇÃO** do concreto

Utilização de cimentos com **BAIXO CALOR DE HIDRATAÇÃO** (CP III e CP-IV)

Redução do **CONSUMO DE CIMENTO**

**AUMENTO DA IDADE DE CONTROLE** das resistências (desde que haja real aumento das mesmas ao longo do tempo)

**REDUÇÃO DO VALOR EXIGIDO DAS RESISTÊNCIAS** de modo a se reduzir o consumo de cimento sem interferir no cálculo estrutural





# REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS: NECESSIDADE OU SOFISTICAÇÃO?

**GRATO PELA ATENÇÃO !**

**Selmo Chapira Kuperman**

**DESEK**

**[selmo@desek.com.br](mailto:selmo@desek.com.br)**